# construction for an expense Distriction of a second construction of the sec

# UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA CARRERA DE IMPULSO Y DE LA BATIDA EN EL SALTO DE ALTURA ESTILO FOSBURY-FLOP. ESTUDIO DE UNA MUESTRA DE SALTADORES/AS ESPAÑOLES/AS DE MÁXIMO NIVEL

COVADONGA DEL MAR MATEOS PADORNO

LAS PALMAS 2003

# D. MANUEL NAVARRO VALDIVIELSO SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.

### CERTIFICA,

Que el Consejo de Doctores del Departamento en su sesión de fecha 30 de abril tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada "Descripción y análisis de la carrera de impulso y de la batida en el salto de altura estilo *fosbury-flop*. Estudio de una muestra de saltadores/as españoles de máximo nivel" presentada por la doctoranda Dª Covadonga Mateos Padorno y dirigida por el Doctor D. Juan Manuel García Manso.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Art° 73.2 del Reglamento de Estudios de Doctorado de esta Universidad, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a treinta de abril de dos mil tres.



### Anexo II

### UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Departamento: EDUCACIÓN FÍSICA

Programa de Doctorado: Análisis praxiológico de las estructuras de los

deportes.

### Título de la Tesis

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA CARRERA DE IMPULSO Y DE LA BATIDA EN EL SALTO DE ALTURA ESTILO FOSBURY-FLOP. ESTUDIO DE UNA MUESTRA DE SALTADORES/AS ESPALOLES DE MÁXIMO NIVEL

Tesis Doctoral presentada por D<sup>a</sup>. COVADONGA MATEOS PADORNO Dirigida por el Dr. D. JUAN MANUEL GARCÍA MANSO.

El/la Director/a.

El/la Doctorando/a,

Las Palmas 2003 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA CARRERA DE IMPULSO Y DE LA BATIDA EN EL SALTO DE ALTURA ESTILO FOSBURY-FLOP. ESTUDIO DE UNA MUESTRA DE SALTADORES/AS ESPAÑOLES/AS DE MÁXIMO NIVEL

### **CONTENIDO**

Dedicatoria

Agradecimientos

Introducción

### **METODOLOGÍA**

Capítulo I

Material y método.

TRES ESTUDIOS FUNDAMENTALES

Capítulo II

Características cronológicas, morfológicas y constitucionales del

saltador de altura.

Capítulo III

Análisis de la carrera en la especialidad de salto de altura estilo

fosbury-flop.

Capítulo IV

Análisis de la batida en la especialidad de salto de altura estilo

fosbury-flop.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE GENERAL

A mi padre (in memoriam), a mi madre, a Jorge y a mis hijos, Covadonga y Jorge

### **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre, que ha sido refugio y apoyo en los momentos más decisivos de mi vida;

A Jorge, gracias por su ánimo, temple, mesura y comprensión; me ha dado el equilibrio necesario para no naufragar en este empeño;

A mis hijos, Covadonga y Jorge, que me han enseñado a ser madre y a luchar por este trabajo. Son mis dos "tesis doctorales" mejor realizadas;

A Alberto Trujillo y Luisa Castellano, mi gratitud por su apoyo;

A mi tío Eugenio Padorno, profesor de la Universidad de Las Palmas, por su ánimo y consejos;

A Miguel Vélez, por sus aportaciones, ideas y su visión global en este estudio;

A Xavi Balius, del Departamento de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento de San Cugat del Vallés, por sus contribuciones en la parte metodológica;

A la Escuela Nacional Entrenadores, en la persona de Jesús Aranaz, y al Departamento de Estadística de la Real Federación Española de Atletismo;

A mi hermano Emilio, por su oportuna ayuda aliviándome con las densas traducciones del inglés;

A Mª José Martínez Patiño, por confiar siempre en mí.

Y, por último, tengo un reconocimiento especial hacia una persona que nunca dejó de creer en mí: el Dr. Juan Manuel García Manso, profesor de la Universidad de Las Palmas, mi director de tesis. A él debo no sólo culminar esta tarea sino porque me ha enriquecido con su trato, con sus conocimientos, aportaciones, visión de los problemas y sobretodo, por su entrega incansable; y por confiar en mí cuando yo no estaba tan segura de poder franquear el listón tan alto como me lo había puesto.

# INTRODUCCIÓN

Tuve la gran suerte de que en el colegio donde estudié el B.U.P., el atletismo formaba parte del contenido curricular de la asignatura de Educación Física. Era la misma profesora la que daba continuidad a dicha actividad dentro del horario extraescolar, algo poco habitual hoy en día, lo que va en detrimento de la popularización de este deporte.

El atletismo ha sido un punto de referencia al que le he dedicado muchos años de práctica y del que he recibido una experiencia que ha marcado positivamente el resto de mi existencia.

Sin embargo, mi paso por esta actividad deportiva estuvo al principio algo condicionada por la incertidumbre de si las variables antropométricas como estatura, peso, relación peso/talla, así como las disposiciones condicionales y psicológicas me permitirían situarme entre las mejores atletas de mi especialidad.

En mis inicios, los objetivos que se plantearon fueron, como es natural, poco ambiciosos y los orienté hacia logros en el ámbito regional; superados éstos, los resultados nos mostraron la posibilidad de emprender otro camino que incluso me permitía llegar a ser una atleta que buscara metas más elevadas a nivel nacional e incluso internacional. Desde entonces, he ido recorriendo otras etapas paralelas como entrenadora, responsable de esta disciplina, y ahora, como docente universitaria.

El interés por la disciplina comenzó de forma incipiente con la recopilación de información sobre historiales, biografías personales y estadísticas de saltadores y saltadoras donde encontré un amplio espectro de opciones. Pude comprobar que gente de mi estatura (170 centímetros) había logrado prestaciones deportivas muy interesantes que atenuaron mis dudas, las cuales se convirtieron en un estímulo personal para seguir mejorando. Como es lógico, intenté compararme con aquellas atletas de alto nivel cuyos perfiles tenían cierta similitud con los míos. A modo de ejemplo, a finales de la década de los setenta, la primera mujer que supera la mítica barrera de los 2.00 metros, la

alemana Ackerman, era de una estatura que, desde el punto de vista deportivo, podemos considerar como *muy baja*: 175 centímetros, practicando todavía el estilo *rodillo ventral*. Un año más tarde (1978), utilizando el estilo *fosbury –flop*, la italiana Simeoni salta 2.01 metros alcanzando un diferencial¹ de 23 centímetros y logra un nuevo récord del mundo. Hay que destacar que otra saltadora, la húngara Matay, con 173 centímetros de estatura, había logrado superar 1 metro, 98 centímetros, con el mismo diferencial que Ackermann (25 centímetros), que la situaba en un puesto de privilegio de cara a la Olimpiada de Moscú (1980). O el americano Jacobs, que lidera desde 1978 el ranking de los atletas que más han saltado por encima de su cabeza: 59 centímetros con una talla de tan sólo 173 centímetros.

En el panorama nacional, coincidí con saltadores que podríamos considerar *muy bajos*; tal era el caso del récordman español Roberto Cabrejas, que con 181 centímetros de estatura alcanzó un diferencial de 45 centímetros. Tenemos también el ejemplo de Mª Luisa García que, con 156 centímetros de estatura, logró saltar 1 metro y 81 centímetros, en el año 1983, lo que daba un diferencial de 24 centímetros.

Todo este interés continuó a lo largo de mi carrera deportiva teniendo un punto y seguido hasta el momento de mi ingreso como docente en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, y más concretamente, en su Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, donde, desde hace diez años, vengo impartiendo las asignaturas de Didáctica de la Educación Física, Atletismo y la Especialidad deportiva de Atletismo. Ahora, esta institución me abre sus puertas para que mi investigación sea valorada y considerada para la mejora de esta disciplina, con las conclusiones que podamos obtener de nuestro trabajo, y con ello, poder profundizar y analizar todo lo concerniente a esta virtuosa especialidad atlética.

Esta oportunidad profesional invita a la doctoranda a transmitir, comunicar y compartir todo lo atesorado durante los años vividos de una forma muy intensa en una amplia y dilatada vida atlética que estuvo dedicada a la especialidad de salto de altura. Por todo ello, me encuentro ante el "reto" personal de encaminar académicamente la

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Diferencial es la distancia en centímetros entre la altura saltada y la estatura del atleta.

experiencia de aquella trayectoria inicial de atleta de alto nivel hacia una actividad docente que me gustaría fructífera, mediante la presentación de esta tesis doctoral.

Así, y desde la añoranza de las competiciones disputadas, en algunos momentos, se fue gestando lo que ahora es el objeto de esta investigación: el análisis técnico de esta especialidad deportiva desde la óptica mecánica y cinemática.

Es mi deseo realizar una humilde contribución participando en el esfuerzo intelectual que la comunidad científica realiza para situar esta modalidad deportiva al nivel obtenido por otras disciplinas del atletismo en el actual momento del siglo XXI, metas que, sin lugar a dudas, redundan positivamente en el avance internacional de dicho deporte.

TIPO DE ESTUDIO

El estudio que presentamos tiene un alcance multidisciplinar ya que puede incluirse dentro de varias disciplinas del conocimiento científico: biomecánica deportiva, la enseñanza de la técnica deportiva o el entrenamiento deportivo; todas ellas, en alguna medida, intervienen en el avance del mismo. En concreto, el tipo de análisis que sobre la especialidad de salto de altura se lleva a cabo en esta investigación es, por su relación con la vertiente práctica, de tipo aplicativo, ya que se evalúan variables cinemáticas que nos pueden permitir tener en cuenta posibles cambios de configuración en la técnica, estrategias del entrenamiento, métodos de trabajo y abrir nuevas líneas de investigación futuras. Y, por último, el planteamiento va a tener un enfoque de carácter descriptivo y comparativo. Se trata de caracterizar el patrón básico de respuesta de los saltadores/as de la máxima categoría nacional. Es decir, necesitamos conocer qué hacen y cómo lo hacen para comprender las causas que determinan el comportamiento técnico de nuestra muestra. A partir de este análisis, estaremos en condiciones de poder comparar nuestros datos con los valores de referencia que nos proporciona la bibliografía especializada publicada hasta el momento.

La técnica de un gesto deportivo es un aspecto importante a considerar en muchas de las especialidades atléticas cuando ésta se convierte en un fin en sí mismo.

Godik<sup>2</sup> aconseja que se determine la efectividad de la técnica deportiva "por su grado de cercanía a la variante individualmente óptima". De ahí que recurrir a la marca como el único indicador de la efectividad de la técnica sería un grave error, aunque es el resultado lo que prima en una competición donde se valora el máximo rendimiento. Por tal motivo, conviene comparar la técnica de cada sujeto con el modelo biomecánico teórico o con la técnica de los más destacados deportistas para concluir niveles referenciales que aparecen entre ellos.

Muchos proyectos de investigación tienen como fin último describir, comparar y explicar los modelos teóricos que sustentan las técnicas deportivas y de esta manera, cooperar en el aumento del conocimiento científico aplicado a las técnicas del deporte. Todos los entrenadores de nivel coinciden en que separar los conceptos técnicos de los biomecánicos implicaría no valorarlos en su justa medida, de forma que consideran de vital interés la aportación que se obtiene de estos estudios, dirigidos a mejorar y aumentar el resultado y las prestaciones por parte de los deportistas, objetivo final del rendimiento en la competición, así como atenuar las lesiones más frecuentes que se dan en las distintas disciplinas.

La biomecánica deportiva, en su aspecto más restrictivo, se ocuparía de analizar los principios mecánicos que explican y justifican los movimientos del hombre desde una perspectiva técnica en aras de alcanzar el máximo rendimiento deportivo. Con tal objetivo, la biomecánica ha sido una de las herramientas de trabajo más utilizada con este fin ya que, como ciencia auxiliar del deporte de alto rendimiento, tiene un papel fundamental; primero, en la comprensión de la técnica atlética; segundo, en la identificación de elementos ventajosos de la misma<sup>3</sup> y, por último, en la creación de ejercicios específicos que forman parte del marco del propio entrenamiento.

En este estudio esta ciencia se convierte en un instrumento que nos proporciona con detalle la información que necesitamos sobre los elementos que caracterizan la técnica de los atletas españoles.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Godik, M., citado en Zatsiorsky, V.M., *Metrología deportiva*, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1989, p. 201.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Dapena, J., "Basic and applied research in the biomechanics of high jumping", en *Medicine Sport Science*, Karger Basel, vol. 25, 1987, p. 20.

### El Instituto Biomecánico de Valencia<sup>4</sup> define la biomecánica así:

Conjunto de conocimientos interdisciplinares generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras ciencias biomédicas, los conocimientos de la mecánica y distintas tecnologías en: primero, el estudio del comportamiento de los sistemas biológicos y, en particular, del cuerpo humano; y, segundo, en resolver los problemas que le provocan las distintas condiciones a las que puede verse sometido.

### **OBJETIVOS GENERALES**

El objetivo de esta investigación pretende conocer las causas que expliquen las ostensibles diferencias que se perciben en los niveles de resultados entre los saltadores/as nacionales y aquellos que ocupan un lugar relevante en el panorama atlético internacional. Por ello, el objetivo principal del trabajo es exponer un posible modelo que, con bases científicas, resuelva, para cada saltador, los parámetros que debería modificar para maximizar su resultado, en función de las variables diferenciadoras que la muestra de referencia presenta y que deducimos a priori como ideales.

Para acotar el objeto de estudio y reducir la amplitud del problema nos trazamos unos objetivos secundarios que enumeramos a continuación:

- 1. Establecer los patrones básicos de movimiento que caracterizan la técnica ideal del estilo *fosbury-flop* en la disciplina del salto de altura;
- 2. Definir la muestra objeto de estudio y compararla con la muestra de referencia;
- Describir las diferencias y semejanzas que refleja el comportamiento de la muestra de control y muestra de referencia en todos los parámetros cuantificables;
- 4. Analizar la relación causa-efecto que se da entre todas las variables objeto de estudio tenidas en cuenta;
- 5. Cuantificar la influencia de las limitaciones técnicas en los resultados que logran nuestros saltadores y saltadoras y
- 6. Contribuir, con nuestras conclusiones, en el trabajo de los técnicos deportivos.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Instituto de Biomecánica de Valencia, http:// www. ibv.org/ibv/index.hml (consulta: Internet, Mayo de 2002).

### HIPÓTESIS

La notable diferencia que se apreciará en los resultados entre las dos muestras es evidente. Nos preguntamos cuáles son los motivos que no permiten a los atletas españoles en salto de altura alcanzar un nivel de prestación acorde con el potencial de rendimiento de otras especialidades atléticas, ya que lo que no admite discusión es que se ha producido una mejora sustancial en todos los ámbitos que rodean al deporte de competición.

Por tanto, en función de nuestros conocimientos y experiencia previa, y una vez realizada la revisión bibliográfica, la hipótesis que va a guiar el desarrollo del presente trabajo es que los parámetros analizados en dos estudios (carrera y batida) de nuestra investigación muestran valores significativamente diferentes a los que habitualmente presentan saltadores de nivel internacional.

### ORGANIZACIÓN DE ESTE TRABAJO DE TESIS

A la presente introducción siguen dos grandes bloques: *Metodología* y *Tres estudios fundamentales*. En el primer bloque, que consta de un capítulo, trata sobre la metodología, instrumentos tecnológicos utilizados para la obtención de datos pertinentes y el método seguido. La segunda parte del trabajo, que constituye el núcleo fundamental del mismo, a su vez agrupa tres capítulos, los cuales me han permitido llegar a unas conclusiones; a continuación, establezco las líneas de investigación que dejo abiertas para futuros investigadores y cierro la investigación con la exposición de una bibliografía general.

### **ALGUNAS CONSIDERACIONES**

Para la realización de aquellos bloques, atendiendo a distintos niveles puramente teóricos, se han utilizado libros y revistas especializadas, artículos científicos e informes de proyectos de investigación desarrollados en competiciones de alto nivel como Juegos Olímpicos, Campeonatos del Mundo y Copa del Mundo. Con referencia al contenido práctico de la investigación, se ha contrastado el aparataje utilizado como el instrumental que hago constar especificándolos en el lugar correspondiente para el

analizar los saltos de los participantes en Campeonatos Nacionales, en situaciones reales de competición, donde los requerimientos técnicos y condicionales estuvieran garantizados por el logro del máximo rendimiento deportivo.

Los estudios prácticos referidos a carrera y batida se abordan desde la óptica de la cinemática. La cinemática es la parte de la biomecánica que se encarga de la descripción del movimiento independientemente de las fuerzas que lo producen. Las mediciones se obtienen a través de técnicas directas o indirectas. Del espectro de métodos y tecnologías de que dispone la biomecánica para el registro y captación de las diferentes fases del movimiento, en situación real de competición, el más empleado suele ser el de la fotogrametría, que se define como el conjunto de técnicas que permiten obtener una información fiable sobre posiciones, dimensiones y actitudes de objetos físicos (Gutierrez)<sup>5</sup>.

Etimológicamente, fotogrametría significa la "medida de lo que escribe o dibuja la luz". El geógrafo Kersten acuñó por primera vez este término en 1855 y Meydenbauder lo introdujo en la literatura internacional en 1967. El *Manual of Photogrammetry* define este término como "el arte, ciencia o técnica de obtener información fiable acerca de los objetos físicos y de su entorno mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes producidas por energía radiante electromagnética y otros fenómenos". Debido al avance tecnológico, esta definición es modificada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección? fotogrametría y teledetección es "el arte, ciencia y técnica de obtener información fiable acerca de los objetos físicos y de su entorno mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes y representaciones digitales producidas desde sensores que no mantienen contacto con el objeto".

En la filmación del deportista se emplean cámaras de cine de alta velocidad, de vídeo analógicas o digitales. Las cámaras de vídeo no han conseguido la resolución espacial que tienen las cámaras de cine pero la frecuencia de filmación es solventada o

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Gutierrez, M. Biomecánica deportiva, Ed. Síntesis, Madrid, 1998, p. 30.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> American Society of Photogrametry, Manual of photogrametry, (Eds.) Slama, C.C., Theurer, C. y Henriksen, S.W., Falls Church, VA, <sup>4</sup>1980, p. 1.

compensada con programas de tratamiento de datos que pueden reconstruir el movimiento con menor número de fotogramas sin diferencias significativas con respecto a un movimiento con mayor número de éstos. "El atractivo del vídeo radica en su sencillez, su utilidad en situación real de campo o en condiciones de competición, sin interferir con las técnicas deportivas" (Aguado)<sup>8</sup>. Hedgecoe<sup>9</sup> reconoce que "la facilidad y comodidad que supone poder apuntar la cámara y grabar horas de acción, que pueden pasarse al VCR y verse de inmediato sin proceso alguno, ha dado a la cámara de vídeo ese especial atractivo que nunca tuvieron la cámara de cine o el tomavistas".

No obstante, para los estudios y grabaciones de los gestos deportivos, la gran mayoría de los investigadores han empleado tradicionalmente cámaras de 16 mm (cine) buscando precisión, nitidez y calidad de imagen. Es decir, mayor resolución y menor distorsión ante una imagen en pausa. Mas tarde, han sido superadas por las cámaras de cine super 8 mm debido a su mayor velocidad de filmación (desde 50 hasta 500 imágenes por segundo) y por los analizadores de este formato.

Hay que señalar que los estudios, tesis y tesinas publicadas en España han utilizado la cinematografía 3-D de alta velocidad. Esta elección conlleva la dificultad de la laboriosa preparación y comprobación del equipo, lo cual obedece a los procesos de filmación: el enhebrado de la película, limpieza y engrasado de las cámaras, antes y después de su uso; a ello hay que añadir el tiempo que transcurre entre el momento que se produce la filmación y la llegada de los resultados a las personas interesadas; el proceso de revelado de las películas y el proceso de digitalización es más largo por el número de fotogramas, debido a la mayor velocidad de filmación, o por la reducción de los datos, entre otros pasos adicionales.

En nuestro caso optamos por la grabación con vídeos profesionales, ya que nuestra investigación se basó en la tecnología y experiencia del Laboratorio de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento de San Cugat del Vallés en Barcelona,

<sup>9</sup> Hedgecoe, J., Guía completa de vídeo, Ceac, Barcelona, 1992, p. 6.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, http://www. Isprs.org/society.html (consulta: Internet, 14-7-2002).

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Aguado, X., Biomecánica aplicada al deporte I, Universidad de León, 1998, p. 8.

© Del documento, los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2006

que se explicará en el capítulo correspondiente. Subrayamos las siguientes prestaciones del sistema de grabado en cinta magnética:

- Una visualización parcial o total inmediata del material filmado;
- Reducción del espacio de almacenamiento;
- Ganancia de tiempo al no precisar revelado posterior;
- Posibilidad de reutilización del material de filmación sin deterioro ostensible;
- Facilidad de manejo;
- Mayor viabilidad económica;
- Menor coste de material fungible y
- Facilidad en el uso y buena capacidad de soporte.

SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS

Para una mejor exposición a la hora de refutar la hipótesis de partida de nuestro trabajo, decidimos abordar el problema mediante el análisis, por separado, de tres estudios:

- el primer estudio trata de caracterizar el perfil morfológico de los saltadores/as de altura que han alcanzado un nivel de rendimiento lo suficientemente elevado como para permitirles participar, con ciertas garantías, en competiciones internacionales. De esta manera, estaremos en condiciones de saber si los resultados técnicos posteriores no están sesgados por partir de un tipo de deportista que no se ajusta a los cánones internacionales que describen al perfil del saltador de altura ideal. Se hace una descripción y análisis detallado de las características morfológicas, constitucionales y cronológicas de la muestra objeto de estudio y la muestra de referencia en el capítulo II. El título asignado a esta parte del estudio responde a "Características cronológicas, morfológicas y constitucionales del saltador del saltador/a de altura".
- El segundo estudio versa sobre el comportamiento de la carrera de aproximación de cada uno de los saltadores analizados. Lo desarrollaremos en el capítulo III denominado: "Análisis de la carrera de aproximación en la especialidad del salto de

altura estilo fosbury-flop". Se intenta, principalmente, aportar datos cuantitativos y cualitativos que frecuentemente no son abordados en esta especialidad deportiva y que no se habían tenido en consideración debido a la carga hereditaria del estilo anterior predominante, el denominado rodillo ventral.

Con el tiempo, y en una búsqueda de mejorar los resultados, se han desarrollado en los últimos años algunas investigaciones dedicadas a profundizar en las características y diseño de esta fase del salto (Dapena)<sup>10</sup>. De la literatura supervisada, sólo un artículo de Primakov *et alii*<sup>11</sup> analiza algunos de los parámetros que también abordamos en nuestro estudio.

La posible novedad en este apartado, además de aportar importantes datos relativos a aspectos cinemáticos de la técnica de carrera de los saltadores y saltadoras españoles/as, que nunca habían sido objeto de estudio de estas características (análisis en tres dimensiones), consiste en analizar las acciones que realiza el saltador durante toda carrera de impulso y sus implicaciones, como por ejemplo, la longitud, forma, trazado, dirección, velocidades del centro de masas (en adelante, expresado como C.M.), los ángulos de todos los apoyos de la carrera, la longitud y frecuencia de los pasos y el radio en la parte curva de la carrera. Asimismo, el protocolo de medida para las inclinaciones del cuerpo en cada uno de los apoyos constituye una aportación doble: el propio procedimiento y los valores obtenidos en todos los apoyos de la carrera.

• El tercer estudio analizará el comportamiento de los deportistas en el momento de la batida; su objetivo será el desarrollo del máximo impulso que sea capaz de generar para proyectar su C.M. con la mayor velocidad y eficacia posible hasta el punto más alto de la parábola de vuelo. Este estudio lo denominaremos "Análisis de la batida en el salto de altura estilo fosbury-flop". Se abordará mediante la

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Dapena, J., "How to design the shape of a high jump run-up", en *Track Coach*, Mountain-View (California), núm. 131, 1995, pp. 4179-4181. Cfr. asimismo, Dapena J., A. Michiyoshi,, A. Iiboshi, "A closer look at the shape of the high jump run-up", en *Track Coach*, Mountain View (California), núm.138, 1997, p. 4406-4411.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Primakov, I.N., I.V. Lazarev, V.G. Konestiapin, "Salto de altura", [Material didáctico para estudiantes y oyentes de la Facultad de Capacitación Profesional del Instituto Central de Educación Física Orden de Lenin], traducción de D. Álvarez y M. Vélez, Moscú. 1986.

definición e interpretación de los datos biomecánicos de la fase más importante del salto de altura, en el capítulo IV.

Para Gasperin<sup>12</sup>, se trata de una modalidad altamente técnica donde una carrera perfecta y una batida perfecta determinarán el éxito del salto. La habilidad para ejecutar esta secuencia de movimientos en el momento justo caracteriza la máxima expresión de una batida eficaz que puede clasificarse como muy compleja y cuyo fin último consiste en mover su cuerpo dentro de una trayectoria que le supone provocar unas rotaciones, tanto en los planos sagital y frontal como en el plano transversal, que son propias de esta técnica.

Las variantes técnicas en la ejecución de las batidas han producido una clasificación en dos grupos bien definidos de saltadores: los que aplican el denominado flop-velocidad y los que aplican el flop-fuerza. Hoy no existe dicha dualidad sino un intento de catalogar los indicadores de eficacia técnica que predominan y caracterizan las muchas variantes posibles. Teniendo en cuenta lo arriesgado de la operación, debido a las diferentes adaptaciones técnicas por parte del saltador, así como las interpretaciones que de las mismas hacen sus respectivos entrenadores, dichas variables van a suponer una herramienta de información, que puede ser de gran utilidad para evaluar la técnica de los/as atletas.

En esta parte del estudio se consideró necesario subdividir su contenido en diversos aspectos propios de esta fase del salto: los mecanismos y la contribución de los segmentos libres; el comportamiento de la pierna de impulso durante la fase de amortiguación en la batida; las velocidades en el último paso y pérdida de velocidad horizontal durante el mismo; las velocidades verticales al inicio y en la salida del despegue; el tiempo que dura las acciones de la batida y la valoración cuantitativa y cualitativa de los momentos angulares que se producen en el plano sagital y frontal durante la ejecución de la misma; y, de esa forma, poder evaluar si los resultados de dichas acciones son los suficientemente eficaces para el saltador o por el contrario, conducen a errores traducidos en la dificultad técnica de franqueo del listón.

 $<sup>^{12}</sup>$  Gasperin, C..., "Introduction to the flop technique", en \textit{Track and field journal}, Canadá, núm. 19, 1983, pp. 8-9.

Debemos de tener presente que la mayor parte de estos errores técnicos son debidos a una mala aplicación de las fuerzas que producen estas rotaciones o que la acción de los segmentos libres no colaboran lo suficiente en su contribución al salto. En otros casos, parte de estos problemas son fallos que se producen en la fase anterior a la batida, concretamente en la transición de la carrera-batida o bien, en la parte curvilínea de la carrera.

La posible novedad de esta sección, además de aportar importantes datos relativos a aspectos cinemáticos de la batida de los saltadores y saltadoras españoles/as, que nunca habían sido objeto de estudio de un análisis en tres dimensiones, consiste en el desarrollo de un protocolo de medida para el cálculo de las inclinaciones del tronco que difiere de los ya existentes (ver capítulo IV). Desde nuestro punto de vista, consideramos que la propuesta que exponemos pretende considerar la inclinación de todo el sistema. Para ello, en las inclinaciones en los dos planos (sagital y frontal) se busca medir desde el apoyo. Mientras que en la inclinación sagital sólo afecta a la batida, en el plano frontal afecta a toda la carrera. Por su parte, el profesor Dapena en sus proyectos sobre atletas de élite, no tiene en cuenta el hecho de que hay atletas que inclinan voluntariamente el tronco, mientras que las piernas están más o menos rectas o bien corren con el tronco recto pero sus piernas si se inclinan. Por el contrario, los investigadores alemanes (Conrad Rizdorf) que realizan este tipo de estudios biomecánicos, en esta modalidad atlética, no definen con claridad, y con una metodología propia consensuada, su protocolo de medición

# METODOLOGÍA

### CAPÍTULO I

### MATERIAL Y MÉTODO

ANTECEDENTES

El punto de partida de mi investigación es el proyecto A.B.A.T. (Análisis Biomecánico de Alta Tecnología)<sup>1</sup>, que consistió en un ambicioso estudio para dar soporte al entrenamiento de alta competición deportiva a través de la tecnología vídeo de alta resolución, ordenadores gráficos especializados, técnicas de modelación y *software* de análisis mecánico.

Nace en el laboratorio de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento de San Cugat del Vallés (Barcelona) y se desarrolla de forma mancomunada con el CEIT de San Sebastián y bajo la supervisión de la Universidad de Indiana Peak Perfomance Technologies y Silicon Graphics, Inc.

Con la intención de ser una herramienta de apoyo útil al entrenador y a los deportistas, este proyecto está enfocado a buscar un mejor conocimiento de los parámetros biomecánicos con el objetivo de interpretar, comparar y evaluar las técnicas de los deportistas. Gracias a las prestaciones de los sistemas de análisis videográficos utilizados, el potencial de información visual e interactiva llega casi a tiempo real con la ventaja que esto supone al convertirse en un excelente medio de cara a poder analizar e intervenir en la modificación de los errores que se visualicen en la pantalla del ordenador.

Se pone en marcha con motivo de los Juegos Olímpicos de 1992, con catorce proyectos; dos de ellos fueron aprobados por la Subcomisión de Biomecánica del Comité

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Cfr. Escoda, J., R. Angulo y J.A. Prat, "Nuevas tecnologías: la visualización biomecánica", *Apunts Educación Física*, núm. 28, 1992, pp. 31-34. Véase asimismo Balius, X., "Biomecánica deportiva en los JJ.OO. de Barcelona", en *Red*, vol. 7, núm. 1 y vol. 8, núm. 1, pp.13-16.

Olímpico Internacional para estudiar las pruebas de calificación y las finales del salto de altura y salto de pértiga. También el salto de pértiga en los Juegos Olímpicos de Atlanta en 1996, cuyos resultados biomecánicos fueron retransmitidos por televisión a través de los canales nacionales e internacionales.

ABAT ha sido pionero en España en realizar estudios biomecánicos en tres dimensiones (3-D). Su método se apoya en la cinematografía de alta definición, procedimiento que requiere el desarrollo de protocolos que implican el trabajo con un tipo de material sofisticado. Este procedimiento ha sido la base de nuestra metodología cuya naturaleza y calidad de su equipamiento y protocolos para la obtención, tratamiento y procesado de imágenes nos ha permitido estudiar la muestra de saltadores/as nacionales utilizados en esta tesis.

Los estudios bidimensionales sobre el salto de altura han quedado obsoletos. Poco a poco han sido sustituidos por otros más precisos que contemplan los análisis en 3-D. De hecho, en la actualidad, un completo y correcto análisis sobre el salto de altura, requiere utilizar un análisis de la imagen de forma tridimensional para analizar la parte curva de la carrera y las rotaciones en los tres ejes del movimiento que se generan durante la batida y el vuelo.

Nuestro país ha contribuido de forma más bien escasa a los continuos avances que se han ido produciendo de forma ingente en el mundo de la biomecánica aplicada al entrenamiento deportivo y, en particular, al atletismo. La excepción viene de la mano de los trabajos realizados en la Universidad de Indiana por el profesor Jesús Dapena y su equipo, cuyas aportaciones sientan la base de la bibliografía existente respecto al salto de altura. Hay que señalar que los análisis biomecánicos que se han realizado sobre esta disciplina han tenido como referencia las grandes citas atléticas de nivel internacional.

### Universo de Estudio

La muestra objeto de estudio la componen sujetos (diez hombres y siete mujeres) incluidos en un grupo de deportistas que tienen en común la condición de tener un registro acreditado para poder competir en los Campeonatos nacionales absolutos de atletismo al aire libre, de la temporada 1997, celebrado durante los días 19 y 20 de julio, en el Estadio Helmántico, pista de atletismo de ocho calles de material sintético, de la ciudad de Salamanca.

En el cuadro siguiente se informa sobre el universo de atletas femeninas con sus mejores registros personales de siempre y la mejor marca lograda durante la temporada anterior a la fecha de de la celebración del Campeonato de España:

Marca Temporada	Fecha Competición	Atleta	Fecha Nacimiento	Mejor Marca	Año Mejor Marca
1.87	08.06	Carlota Castrejana	25.04.1973	1.89	1996
1.86	31.05	Ruth Beitia	01.04.1979	1.86	1997
1.84	03.05	Marta Mendia	18.05.1975	1.87	1996
1.82	24.05	Mª Mar Martínez	26.06.1969	1.88	1991
1.77	12.07	Ainara Mondina	27.03.1974	1.77	1997
1.75	11.05	Ana Ocón	01.12.1972	1.75	1996
1.75	17.06	Inma Clopés	19.01.1968	1.82	1996
1.74	01.07	Victoria Fernández	31.12.1977	1.75	1995
1.73	20.04	María Romero	14.04.1981	1.73	1997
1.72	31.05	Cristina Teixeira	16.05.1978	1.73	1996
1.72	17.06	Susana Cruz	27.07.1966	1.73	1994
1.71		Ana B. Martinez	30.05.1975	1.77	1994
1.71	14.06	Raquel Álvarez	13.06.1983	1.71	1997
1.71	26.06	Agustina Manresa	18.08.1978	1.75	1996
1.71		Isabel Siles	31.08.1973	1.72	1995

Tabla 1. Atletas femeninas con la mínima exigida.

Aportamos en el siguiente cuadro el universo de atletas masculinos con la mejor prestación de la temporada y su mejor registro personal antes de la celebración del Campeonato de España:

Marca Temporada	Fecha Competición	Atleta	Fecha Nacimiento	Mejor Marca	Año Mejor Marca
2.30	21.06	Arturo Ortiz	18.09.1966	2.34	1991
2.26	18.06	Ignacio Pérez	12.04.1973	2.26	1997
2.21	21.05	Gustavo A. Bécker	17.06.1966	2.30	1992
2.18	11.06	Jordi Rofes	24.08.1976	2.21 (2.23i)	1993/94i
2.16	18.05	Marc Pagés	05.03.1974	2.16	1997
2.15	09.07	Raul Lozano	25.02.1978	2.15	1997
2.15	20.07	Alejandro Badolato	09.04.1975	2.15	1997
2.14	04.05	Javier Bermejo	23.12.1978	2.14	1997
2.13	29.06	Oscar González	08.08.1976	2.14	1995
2.13	27.07	Enrique Berruelo	14.05.1973	2.15	1994
2.12	20.07	Carlos de la Peña	06.06.1970	2.20	1992
2.12	04.02	Jorge Franco	06.11.1976	2.12	1997
2.11	05.07	David Antona	16.11.1978	2.11	1997
2.11	05.07	Edorta Arambuzabala	07.02.1979	2.11	1997
2.11	22.02	Jaime Peñas	30.01.1972	2.12	1996

Tabla 2. Atletas masculinos con la mínima exigida.

Las características de estos grupos de saltadores/as son las siguientes:

- Todos los atletas participantes en el Campeonato Nacional de Salamanca (1997), once hombres y diez mujeres, poseían la marca mínima establecida por la comisión técnica de la Real Federación Española de Atletismo (en adelante: R.F.E.A.), (Mujeres 1.71 metros y Hombres 2.11 metros).
- No todos los deportistas del universo de estudio (Hombres: 26.66% y Mujeres:
   33.33%) que habían realizado la marca mínima exigida participaron en la prueba de salto de altura durante los Campeonatos Nacionales al Aire Libre de esa temporada.

- De los once saltadores participantes en esta competición, diez (90.91%) formaron parte de la muestra utilizada en nuestro estudio, mientras que de las diez saltadoras que compitieron sólo siete (70%) fueron analizadas e incorporadas como muestra.
- Cuatro de los/as saltadores/as participantes [Hombres: 2 (Bécquer y Ortiz); Mujeres:
   2 (M. Martínez y C. Castrejana)] habían batido en alguna ocasión el récord nacional al aire libre y, también, cinco de ellos/as habían ganado en alguna ocasión el Campeonato Nacional al Aire Libre (Hombres: 2 y Mujeres: 3).
- Algunas/os de las participantes en el Campeonato de España de ese año no eran especialistas en esta modalidad, practicando, ocasionalmente, otras disciplinas atléticas con mejor rendimiento. El caso más evidente es el de Teixeira y el de Cruz, atletas cuya especialidad son las pruebas combinadas.
- La mayoría están dirigidos por distintos entrenadores, lo que supone diferencias en el aspecto técnico y de entrenamiento que posiblemente afectarán a los resultados obtenidos en los saltos incluidos en nuestro estudio:

Atletas hombres	Entrenador	Atletas mujeres	Entrenador
A. Ortiz	F. López	M. Mendía	R. González
I. Pérez	P. Espinosa	C. Castrejana	F. López
G.A. Bécker	M. Vélez	Ma M. Martinez	P. Espinosa
A. Badolato	R. Torralbo	A. Mondina	V. Ugalde
M. Pagés	M. Vélez	C. Teixeira	J.L. Martinez
C. de la Peña	M. Acero	V. Fernández	
J. Rofes	M. Vélez	A. Manresa	M. Vélez
R. Lozano	M. Segura		
O. González	M. Banderas		
Arazanburuzabala	R. Cid		

Tabla 3. Entrenadores de las atletas participantes en el Campeonato de España.

Todos los saltadores utilizaron como técnica de salto el conocido como estilo
 Fosbury flop. Ocho saltadores (80%) y siete saltadoras (85.7%) entraban a la batida
 por el lado derecho del foso de salto, mientras que el resto lo hacía por el lado
 izquierdo.

### SELECCIÓN DE LA MUESTRA OBJETO DE ESTUDIO

La muestra está compuesta por diez hombres y siete mujeres, participantes en la prueba de salto de altura del Campeonato de España Absoluto al Aire Libre de 1997 celebrado en la pista de atletismo del Helmántico de la ciudad de Salamanca. Es necesario señalar que todos los saltadores analizados utilizaron la técnica de salto denominada fosbury-flop.

El siguiente cuadro nos aporta las características morfológicas más importantes del universo de estudio. Explicación de la tabla: en la columna donde aparece M. Marca, el primer dato corresponde a la mejor marca conseguida esa temporada, antes del campeonato, mientras que el segundo registro corresponde a la mejor marca de todos los tiempos, hasta final de ese mismo año.

CATEGORÍA MASCULINA						
Atleta	Fecha De Nacimiento	Estatura (metros)	Peso (Kilos)	Peso / Talla	M. Marca (metros)	Resultado (metros)
A.Ortiz	18/9/1966	1.90	73	3.84	2.27/2.34	2.26
I.Pérez	12/4/1973	1.95	81	4.15	2.26/2.26	2.21
G. Bécker	17/6/1966	1.84	71	3.85	2.22/2.30	2.21
A. Badolato	9/4/1975	1.92	68	3.54	2.07/2.10	2.15
M. Pagés	5/3/1974	1.90	73	3.82	2.16/2.16	2.12
C. Peña	<i>6/</i> 6/1970	1.95	71	3.64	2.12/2.20	2.12
J. Rofes	24/8/1976	1.93	80	4.14	2.18/2.1 (2.23i)	2.08
R. Lozano	25/2/1978	1.88	65	3.45	2.15/2.15	2.04
O.González	8/8/1976	1.93	83	4.30	2.13/2.14	2.04
E.Aramburuz.	7/2/1979	1.95	80	4.10	2.11/2.11	2.04

CATEGORÍA FEMENINA						
Atleta	Fecha De Nacimiento	Estatura (metros)	Peso (Kilos)	Peso / Talla	M. Marca (metros)	Resultado (metros)
Mendia	18/5/1975	1.75	59	3.37	1.84/1.87	1.83
Castrejana	25/4/1973	1.88	67	3,58	1.87/1.89	1.80
Martinez	26/6/1969	1.79	58	3.24	1.82/1.88	1.74
Mondina	27/3/1974	1.79	59	3.29	1.77/1.77	1.74
Teixeira	16/5/1978	1.76	65	3.69	1.72/1.73	1.71
Fernández	31/12/1977	1.71	53	3.09	1.74/1.75	1.67
Manresa	18/8/1978	1.75	62	3.54	1.71/1.73	1.67

Tabla 4. Atletas participantes en el Campeonato de España.

La población que puede participar en unos Campeonatos de España viene determinada por la consecución de la marca mínima exigida por la R.F.E.A. Esta norma nos indica que la muestra a estudiar está formada por sujetos que igualan o superan dicha marca. Este criterio es aplicable para los registros obtenidos en la temporada finalizada o la temporada en curso, lo que a priori también nos asegura un cierto nivel en los saltos analizados, al menos a escala nacional. En este encuentro participaron los/as mejores especialistas del salto de altura del momento con la excepción de una saltadora con problemas físicos que se reservó para una competición internacional de la categoría junior que se celebraría con posterioridad a dicho campeonato, al igual que otros/as que centraron sus esfuerzos en las pruebas combinadas.

En este sentido, cabe destacar que entre los deportistas analizados se encontraban los que, en ese momento, poseían los récords de España de las categorías masculina y femenina (A. Ortiz: 2.34 metros, en 1991; Castrejana: 1.89 metros, en 1996). Así mismo, otros dos saltadores, G. Bécker, en pista cubierta y M.M. Martínez, también habían poseído con anterioridad un récord nacional de la disciplina. Los récords o la mejor marca de los Campeonatos Nacionales correspondían, hasta ese campeonato, a A. Ortiz con un registro de 2.32 (CE de 1992) y en las mujeres a M. Martínez con 1.87 (CE de 1990). En la competición estudiada, ninguno de los participantes superó dichos registros nacionales. Por el contrario, debemos destacar que las marcas logradas, por la mayor parte de los

participantes, quedaron por debajo de los récords nacionales y/o personales. Por este motivo, el nivel del campeonato podemos catalogarlo como bajo, especialmente si lo comparamos con los campeonatos de años anteriores:

R	Resultados de Campeonatos de España en Categoría Femenina					
Año	1º Clasificado	Media 3 Primeros	Media 8 Primeros			
1988	1.77	1.77 +/- 0.00	1.72 +/- 0.04			
1989	1.76	1.75 +/- 0.02	1.73 +/- 0.02			
1990	1.87	1.80 +/ -0.06	1.75 +/-0.05			
1991	1.76	1.75 +/- 0.02	1.72 +/- 0.03			
1992	1.78	1.76 +/- 0.01	1.72 +/- 0.04			
1993	1.78	1.77 +/- 0.01	1.74 +/- 0.04			
1994	1.81	1.78 +/- 0.03	1.75 +/- 0.03			
1995	1.85	1.82 +/- 0.02	1.76 +/- 0.06			
1996	1.87	1.85 +/- 0.02	1.77 +/- 0.08			
1997	1.83	1.79 +/- 0.04	1.73 +/- 0.01			
R	esultados de Campeona	tos de España en Categorí	a Masculina			
Año	1º Clasificado	Media 3 Primeros	Media 8 Primeros			
1988	2.26	2.21 +/- 0.07	2.12 +/- 0.09			
1989	2.24	2.19 +/- 0.05	2.12 +/- 0.07			
1990	2.31	2.23 +/- 0.07	2.14 +/- 0.10			
1991	2.26	2.19 +/- 0.10	2.10 +/- 0.10			
1992	2.32	2.24 +/- 0.09	2.16 +/- 0.09			
1993	2.26	2.20 +/- 0.05	2.13 +/- 0.07			
1994	2.21	2.19 +/- 0.02	2.13 +/- 0.07			
1195	2.28	2.22 +/- 0.05	2.16 +/- 0.06			
1996	2.21	2.19 +/- 0.02	2.15 +/- 0.04			
1997	2.26	2.22 +/- 0.02	2.14 +/- 0.06			

Tabla 5. Resultados de los Campeonatos de España desde el año 1988-1997

Hay que señalar que esta competición es la más importante dentro del calendario nacional y, a menos que un atleta esté preparando una Olimpiada o Campeonato del Mundo o similar y no le convenga participar por ajustes de forma, lo habitual es que tenga como

prioritario competir cada año en esta cita atlética. Ahora bien, se puede dar el caso de que existan atletas que, al tener varios títulos de Campeón/a Nacional, no le motive participar en esta competición, o bien que, no estando en su mejor momento de forma, necesite aprovechar ese período de la temporada para preparar otra competición de carácter internacional y, por tales circunstancias, la R.F.E.A. le exima de participar, no incumpliendo, de esta forma, las normas que rigen hoy dentro del ámbito federativo, donde para poder acudir, en representación de España, a las grandes campeonatos internacionales (Juegos Olímpicos, Campeonatos de Mundo y Campeonatos de Europa) se debe quedar clasificado entre los tres primeros del Campeonato Nacional. No cabe duda que los Campeonatos de España al Aire Libre son el mejor reflejo del estado de salud de nuestro atletismo, aunque imponderables externos (fundamentalmente climatológicos como el viento, el agua o el frío) pueden afectar, de forma significativa, al nivel de las marcas que obtienen sus participantes. Con el fin de poder paliar parcialmente esta circunstancia es necesario analizar la siguiente tabla en la que quedan reflejadas las marcas medias de los diez primeros clasificados del ranking anual de la especialidad de salto de altura al Aire Libre:

Media de los 10 primeros atletas clasificados del ranking nacional				
Año	Hombres (metros)	Mujeres (metros)		
1988	2.14	1.74		
1989	2.15	1.75		
1990	2.17	1.77		
1991	2.14	1.76		
1992	2.18	1.75		
1993	2.18	1.76		
1994	2.17	1.76		
1995	2.17	1.78		
1996	2.18	1.80		
1997	2.18	1.78		

Tabla 6. Promedio de la marca de los diez primeros saltadores entre los años 1988-1997.

La tabla nos muestra claramente el grado de estancamiento, o de lenta evolución, que sufre, en nuestro país, esta modalidad atlética, tanto en la categoría masculina como en la femenina, lo que ratifica, en parte, la necesidad de realizar un estudio de estas características, así como la importancia de algunas de las conclusiones que se puedan derivar de su realización. Esto justifica que, al contrario de lo que ocurre con otras especialidades atléticas, la participación de los saltadores/as de altura españoles/as ha sido escasa, y casi testimonial, en las principales competiciones internacionales [Campeonatos de Europa en pista cubierta y al aire libre (CE-PC y CE-AL), Campeonato del Mundo en pista cubierta o Aire Libre (CM-PC y CM-AL) y en Jugos Olímpicos (JJOO)], tal y como se observa en la tabla siguiente cerrada a 31 de Mayo del 2002; el número de veces que los atletas han sido internacionales queda cerrado a 31 de diciembre del 1999:

Hombres						
Atleta	Internac.	СЕ-РС	CE-AL	СМ-РС	CM-AL	1100
L. M. Garriga	44	9° - 1968 8° - 1969 5° - 1970	21°C-1966 10°-1969			21° - 1964 11° - 1968
G. Marqueta	18	16° 1975 Nulos – 1976	12° CA – 1974			
F. M. Morillas	12	7° - 1977 9° - 1976 17° - 1980				11° CB - 1976
J. Carrasco	4					8° CB - 1976
M. Perarnau	25	18° - 1974 21° - 1980 15° - 1981	15° CB – 1974			7ª CB - 1980
R. Cabrejas	38	18° - 1977 7°- 1982	7° CA – 1982		8° CA – 1983	16ª - 1980
M.A. Moral	11	13° - 1986	11°CB - 1982			
A. Ortiz	36	13 – 1987 2° - 1990 7° - 1992 6° - 1996	8° - 1990	9° - 1991 12° - 1993 11° - 1997	12° - 1987 10°- 1991 7° - 1993 12° CA – 1995 14° CA – 1997	14° - 1988 14° CA – 1992 8° CB – 1996
G. Bécker	34	15° - 1986 14° - 1987 11° - 1990 12° - 1992	13° CA - 1994	16° C – 1991 5° CA – 1993 6° CA – 1995 11° CA – 1997	13° CB – 1993 8° CB-1991	11°-1992
J. Rofes	1	21°C – 1995				
I. Pérez	5	14° - 1998	9° CB – 1998		. , , , , , ,	

Mujeres						
Atleta	Internac.	СЕ-РС	CE-AL	СМ-РС	CM-AL	1100
R. Beitia	3	15° C - 2002	11°- 2002	7°- 2001		
C. Mateos	8	9ª - 1986				
M. Mendía	7	8° - 1998 12ª C - 2000 16ª C - 2002	9ª CA - 2002	10°- 2001	10 <sup>a</sup> CB – 1999 13 <sup>a</sup> CB – 2001	12ª CA - 2000
M.M. Martinez	17			14° - 1991 nulos - 1995		
C. Castrejana	10			9ª CA - 1995		
I. Mozún	38	12° - 1977				12° CB - 1984

Tabla 7. Participantes españoles en los eventos internacionales.

Esta es la razón por la que sólo cinco, dos hombres (20 %) y tres mujeres (42.9 %), de estos deportistas forman parte de la muestra de estudio, aunque también es necesario señalar que todos ellos han constituido el 100% de los saltadores internacionales absolutos de los últimos cinco años anteriores al campeonato objeto de estudio. Este estancamiento puede hacerse extensible al comportamiento de esta modalidad a escala internacional, ya que el salto de altura, como otras disciplinas atléticas dependientes de la fuerza, han visto frenada su progresión en los últimos años.

Con la tabla siguiente podemos examinar la media de los 10 y 100 primeros clasificados del ranking mundial en la categoría de mujeres y hombres desde 1988 hasta 1997:

Año /	Hom	bres	Mu	jeres
Promedio	Media – 10°	Media – 100°	Media – 10°	Media – 100°
1988	2.36	2.24	1.98	1.88
1989	2.34	2.24	1.98	1.87
1990	2.35	2.23	1.97	1.87
1991	2.34	2.23	1.96	1.87
1992	2.34	2.24	1.96	1.88
1993	2.35	2.24	1.97	1.88
1994	2.33	2.23	1.98	1.87
1995	2.34	2.23	1.98	1.87
1996	2.34	2.24	1.98	1.87
1997	2.32	2.24	1.97	1.86

Tabla 8. Marca media del ranking mundial (1988-1997).

### SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE REFERENCIA

La muestra de referencia que seleccionamos para nuestro estudio la constituyeron sujetos participantes en los grandes compromisos oficiales o que ocupaban un lugar relevante en el ranking mundial de esa temporada. Con el fin de poder comprender mejor el nivel de rendimiento de los sujetos empleados en las muestras (nacional y de referencia) presentamos dos tablas en las que tratamos de categorizar los resultados de los saltos analizados para las dos categorías (masculina y femenina):

Nivel	Masculino	Femenino
Internacional – A	>2.34	>1.96
Internacional – B	2.33 - 2.27	1.95 - 1.91
Nacional -1	2.26 - 2.17	1.90 - 1.84
Nacional – 2	2.16 - 2.07	1.83 - 1.70
Regional – 1	2.06 - 1.97	1.69 - 1.63
Regional – 2	1.96 - 1.87	1.62 - 1.56

Tabla 9. Nivel de rendimiento por categorías.

Así mismo, la marca que corresponde a diferentes posiciones del ranking mundial, de todos los tiempos cerrado a 31 de diciembre del 2001, se refleja a continuación:

Posición en el Ranking Mundial	Marca Masculina	Marca Femenina
1° Clasificado Mundial (TT)	2.45 metros	2.09 metros
10° Clasificado Mundial (TT)	2.39 metros	2.03 metros
20° Clasificado Mundial (TT)	2.37 metros	2.01 metros
50° Clasificado Mundial (TT)	2.34 metros	1.98 metros
100° Clasificado Mundial (TT)	2.31 metros	1.95 metros
150° Clasificado Mundial (TT)	2.30 metros	1.94 metros
200° Clasificado Mundial (TT)	2.28 metros	1.92 metros
250° Clasificado Mundial (TT)	2.28 metros	1.91 metros
300° Clasificado Mundial (TT)	2.27 metros	1.90 metros

Tabla 10. Posiciones en el Ranking Mundial.

Los autores de las investigaciones publicadas en la bibliografía especializada que nosotros empleamos presentan una muestra importante de saltos, los cuales fueron aprovechados en la medida de lo posible para cada uno de los estudios de nuestra

investigación. Dado que los diversos autores ni consideraron los mismos objetivos ni midieron los mismos parámetros que en esta tesis, es lógico que el número de sujetos no coincida y varíe según el aspecto analizado.

Los resultados de los informes siguientes son los que han formado parte de nuestra muestra de referencia:

- I Campeonato del Mundo Junior de Atenas 1986;
- Campeonato del Mundo Pista Cubierta de Indianápolis 1987;
- II Campeonato del Mundo de Roma 1987;
- Juegos Olímpicos de Seúl 1988;
- V Copa del Mundo de Atletismo, en Barcelona 1989;
- Juegos Olímpicos de Barcelona 1992;
- VI Campeonato del Mundo de Atenas 1997;
- Informes de los proyectos científicos efectuados en los siguientes Campeonatos Americanos:

```
-1982, Proyecto, núm. 1208 (5 mujeres y 11 hombres);
```

- -1983, Proyecto, núm. 1210 (13 hombres);
- -1986, Proyecto, núm. 761, (12 hombres);
- -1986, Proyecto, núm. 1211 (18 mujeres);
- -1994, Proyecto, núm. 712 (7 mujeres);
- -1994, Proyecto, núm. 711 (10 hombres);
- -1995, Proyecto, núm. 714 (7 hombres);
- -1995, Proyecto, núm. 713 (8 mujeres);
- -1998, Proyecto, núm. 762, (7 mujeres);
- -1998, Proyecto, núm. 763 (5 hombres);
- -1999, Proyecto, núm. 1214 (7 mujeres) y
- -1999, Proyecto, núm. 1215 (5 hombres).



# INSTRUMENTOS E INFRAESTRUCTURA UTILIZADOS EN EL ESTUDIO

En este apartado describiremos brevemente los materiales utilizados para la grabación, calibración, digitalización y tratamiento de las imágenes obtenidas en el trabajo de campo desarrollado durante el Campeonato de España al Aire Libre celebrado en Salamanca (19 y 20 de Julio de 1997).

### Material de grabación

Se utilizaron un total de seis cámaras con sus respectivos accesorios, los objetivos, parasoles, trípodes ligeros (2) y robustos con patas de triángulo y rótula regulable en los tres ejes del espacio (4). Reseñamos a continuación de forma detallada las características del material utilizado:

- 2 cámaras JVC modelo TK-128-0 E;
- 2 cámaras Panasonic modelo WV F70 E;
- 1 cámara Panasonic WV-SHS 1;
- 1 cámara Panasonic Palmcorder NV-S7 E;
- 1 Monitor Sony PVM 9020-ME;
- 1 Monitor Panasonic P2020;
- 1 Generador/incrustador de código de tiempo Applemann Velte:
- 1 Generador/incrustador de código de tiempo Horita;
- Cableado para unir las cámaras tipo BNC<sup>2</sup> (coaxiales) y
- Cintas de video tipo S-VHS.

Debido a las dificultades que entraña la captación de imágenes en situaciones reales, en las que el público y las características arquitectónicas de la instalación condicionan su

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> BCN es un cable coaxial con terminal en rosca, para la entrada de video con innumerables aplicaciones en control y testeo de instalaciones de video, es decir, funciona como protocolo de interconexión entre dos o más equipos.

obtención, se hizo necesario disponer de otros elementos que permitieran desarrollar un trabajo más cómodo y eficaz.

• 2 "rack" o cajones metálicos con ruedas donde se alojan los equipos de vídeo.

#### Materiales utilizados en la reproducción de las imágenes

El tratamiento de las imágenes se realizó en el Laboratorio del Departamento de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento de San Cugat, para lo cual se precisó utilizar el siguiente aparataje:

- 1 magnetoscopio, formato S-VHS, Panasonic AG-7330;
- 2 Monitores (ya incluídos) y
- Cableado para unir las cámaras.

#### Material informático

Los ordenadores fueron conectados a una red local y, para la recogida de datos, el tratamiento de los mismos, la digitalización de las imágenes y la generación de resultados se contó con el siguiente material del laboratorio del CAR:

- Ordenador Pentium 133 Mhz, 128 Mb de memoria, y 4 Gb HD, SCSI;
- Impresora color de texto y gráficos;
- Estación de trabajo Silicon Graphics y tarjeta digitalizadora de imágenes
   Cosmo-compress y
- Programa de digitalización DMC (Digital Motion Capture) para la captura y la digitalización de las secuencias.

#### Otros materiales

- Dos sistemas de referencias;
- Dos cintas métricas y

#### RECURSOS HUMANOS UTILIZADOS EN EL TRABAJO DE CAMPO

La complejidad de este tipo de estudios nos obligó a realizar un despliegue de personal especializado, que nos garantizara la correcta colocación de los implementos, su funcionamiento en tiempo y la resolución de las dificultades técnicas que pudieran producirse durante el transcurso de la grabación. En este estudio, fue necesario desplazar a:

- Dos ayudantes especialistas de la Unidad Biomecánica del CAR;
- Un ayudante del laboratorio de Análisis y Planificación del Entrenamiento Deportivo, dependiente del Departamento de Educación Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria;
- La investigadora principal.

Para poder efectuar la preparación y la filmación de la competición oficial durante los Campeonatos de España de Atletismo al Aire Libre, fue necesario:

- Informar del proyecto para la obtención de los permisos de la RFEA que nos permitieran trabajar y filmar en pista antes, durante y después de la competición;
- Acreditar al equipo investigador para el acceso a la instalación y
- Transporte del material en una unidad móvil.

\_

#### DISEÑO EXPERIMENTAL

En este apartado indicamos los criterios que se han seguido para la obtención de las variables utilizadas en cada estudio, tratando en todo momento de realizar observaciones sistemáticas y mínimamente contaminadas.

En dos de los estudios (caracterización y batida) se llevó a cabo un diseño entre grupos que correspondían a las muestras de saltadores nacionales y ocasionalmente, los grupos de referencia con deportistas internacionales de diferente nivel de rendimiento. En otro de los estudios (carrera de aproximación) se efectuó un diseño intragrupo con comparaciones individuales, para cada variable, entre los diferentes sujetos del grupo experimental de ambos sexos (hombres y mujeres).

#### Características de la competición

Lamentablemente no todos las competiciones atléticas se rigen por unos criterios iguales en cuanto a su organización y desarrollo. El número de participantes, las condiciones meteorológicas del día de celebración, la hora, el resto de pruebas que se celebran en la jornada, las obligaciones para la retransmisión televisiva y/o necesidades propias de los espectadores, u otros imprevistos, responden, unas veces a criterios técnicos y reglamentarios, o bien a necesidades inherentes a la propia competición, con el fin de hacer más atractiva la misma.

#### Tipo de competición

Como ya hemos señalado anteriormente, las filmaciones de los saltos de la muestra nacional, fueron realizadas durante la celebración del LXXVII Campeonato de España de Atletismo al Aire Libre, que tuvo lugar en la ciudad de Salamanca en la pista de Atletismo del Helmántico, en jornada vespertina los días 19 y 20 de Julio de 1997.

Condiciones atmosféricas como la lluvia, viento, temperatura y humedad relativa, pueden condicionar el rendimiento de los deportistas durante una competición de salto de altura. En nuestro caso, podemos señalar que, respecto al viento, la competición se desarrolló con unas condiciones climatológicas favorables, lo que unido a la calidad de la pista, podríamos presuponer que se deberían haber conseguido mejores resultados.

Las condiciones climátológicas en el desarrollo de la competición se reflejan en la siguiente tabla según datos del Instituto Nacional de Meteorología:

	Temperatura			Humedac (%)	Velocidad del viento (km/h)		
Hora	17:00	18:00	19:00	16:00	19:00	16.00	19:00
19 Julio 1997	26°	21°	20°	17 %	42 %	11 km/h	11 km/h
20 Julio 1997	26°	22°	22°	34 %	53 %	4 km/h	6 km/h

Tabla 11. Condiciones atmosféricas durante las competiciones masculina y femenina.

El viento supuso un pequeño contratiempo durante la fase inicial de la celebración de la prueba masculina (20 de julio), ya que, por su orientación, perjudicaba a los atletas en su carrera de aproximación. Una vez situadas las cámaras y el resto de material de filmación, los atletas solicitaron a la organización que el foso cambiara de orientación y, de esta forma, evitar una brisa en contra de sus carreras. Tal eventualidad supuso tener que cambiar, urgentemente, toda la logística de grabación y proceder a un nuevo calibrado.

#### Protocolo de filmación

Se precisó un tiempo aproximado de cinco horas para la preparación de los equipos, el cargado de baterías, conexión del cableado, ajuste y ubicación de las cámaras dentro y fuera de la pista, y calibración.

Una vez estuvo preparado el equipo, y comenzó la competición, se filmaron todos los saltos de la misma, con cada una de las cámaras, sin ningún tipo de interrupción. Esto

supuso la grabación de un total de 81 saltos en la categoría masculina y 56 saltos en la femenina.

Se decidió utilizar como criterio el mejor salto válido de cada participante que corresponde a la mejor prestación lograda. Sin embargo, tenemos conocimiento que dicho intento puede no ser el salto más alto efectuado, pero sí el más correcto desde el punto de vista del reglamento. En algunos casos, un salto nulo podría aportarnos un punto de vista técnico más interesante que un salto validado.

Finalmente, fueron seleccionados, 17 saltos correspondientes a los diez hombres y las siete mujeres, en los que se estudió la carrera de aproximación, la batida y el vuelo. Por problemas técnicos como la falta de imágenes, o por los resultados obtenidos muy lejos de los registros personales, algunos saltos fueron eliminados del estudio.

#### Ubicación de las cámaras

Para la colocación de las cámaras y en función de las características de la instalación, se siguieron los siguientes criterios:

- 1. Que no existieran puntos ocultos durante la filmación;
- 2. Que hubiera un buen ajuste de las ópticas;
- 3. Que se evitase el sol directo sobre las cámaras;
- 4. Que se evitase cualquier tipo de perturbación, como las vibraciones y
- Que las condiciones de luz fueran buenas ya que se utilizó una velocidad de obturación rápida 1/500 milisegundos.

Además de estos requisitos y una vez analizados y ponderados todos los aspectos técnicos, las cámaras se colocaron donde se estimó más conveniente. Hay que tener en cuenta que el uso del algoritmo matemático de la transformación lineal directa (DLT)<sup>3</sup> nos

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Método desarrollado por Abdel-Aziz & Karara (1971) y descrita con detalle por Waltson en 1981. Técnica frecuentemente utilizada para calibrar las cámaras y posteriormente para la reconstrucción de los puntos filmados con dichas cámaras en un espacio tridimensional.

posibilita colocar las mismas de forma arbitraria sin necesidad de realizar mediciones en el campo para determinar sus posiciones<sup>4</sup>, ni que exista intersección de los ejes ópticos, aunque las direcciones de filmación, tanto para el proyecto de carrera como para el de batida garantizaron la ortogonalidad<sup>5</sup>. Es recomendable una angulación entre 80°-120°. Sin embargo, debemos destacar que los puntos del sistema de referencia usado para la calibración (puntos con ubicaciones conocidas) se deben distribuir de manera que encuadren todo el espacio donde se va a desarrollar la actividad<sup>6</sup>.

Véase en el siguiente plano de la pista los lugares donde finalmente fueron ubicadas las diferentes cámaras.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Yeadon, M.R., "The simulation of aerial movement I", *Journal of biomechanical*, vol. 23, núm.1,1990, p. 63. <sup>5</sup> Challis, J. H., y D. Kerwin, "Accuracy assement and control point configuration when using DLT for photogrammetry", en *Journal of Biomechanics*, vol. 25, núm. 9, 1992, p.1053. <sup>6</sup> *Ibidem*, p. 1053.

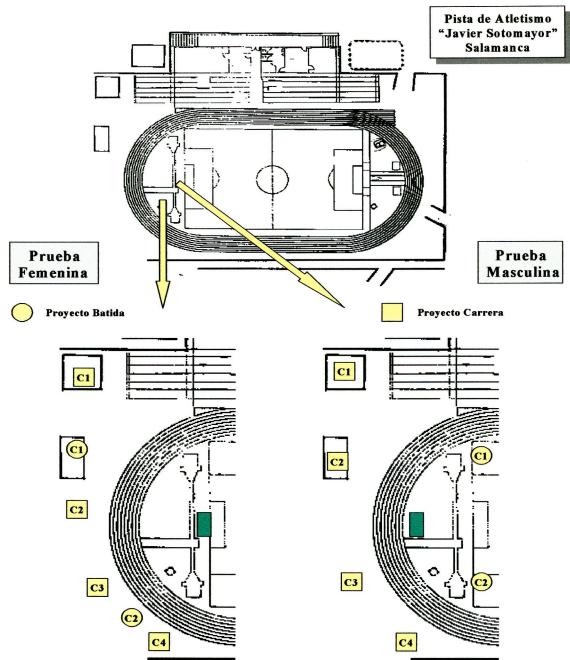


Fig.1. Ubicación de las cámaras en la pista durante la competición masculina y femenina.

En el proyecto de la carrera se necesitaron un total de cuatro cámaras, dos de las cuales se utilizaron para la grabación de las carreras de aproximación que fueron ejecutadas desde el lado derecho respecto a la frontal del listón, mientras que otras dos cámaras se utilizaron para grabar la carrera del lado izquierdo. Esta distribución se llevó a cabo tanto en la competición femenina como la masculina.

Las limitaciones de la instalación nos obligaron a instalar dichas cámaras (asentadas en trípodes) en el perímetro exterior de la pista a una distancia del foso de caídas de 35 metros, y sobre una zona de hierba, que utilizada como gradas durante la competición, fue invadida por el público asistente. Este motivo junto al propio movimiento y desplazamiento de los saltadores y de los jueces así como de otros participantes que realizaban parte de su calentamiento en dicha zona, dificultó enormemente el proceso de filmación especialmente en la cámara del lado derecho.

Cada pareja de cámaras estaba conectada entre sí mediante el cable coaxial que proporcionaba la adecuada sincronización en la captación de las imágenes. Sin embargo, en el proyecto de batida, las cámaras no estaban conectadas por cable y, por tal motivo, se utilizó el sistema de eventos propuesto por el profesor Dapena descrito en el proyecto ABAT, que consistió en una aproximación en la que se tiene en cuenta el momento del contacto del pie de batida, que el autor denomina tiempo en 10 segundos (t = 10.00), el cual representa un criterio estimativo lo bastante fiable para la sintonización de las imágenes tomadas por cada cámara. Este valor asignado arbitrariamente, identifica el instante en que el pie de batida hace el primer contacto con el suelo para empezar la fase de batida y, de este modo, facilitar la comparación entre los saltos.

En el proyecto de batida se utilizaron sólo dos cámaras. Cada cámara tomaba la batida del lado derecho y la batida del lado izquierdo. Dado que el plano de la imagen era suficiente nos permitió prescindir de otras dos cámaras, optimizando recursos.

En la competición masculina, las cámaras se colocaron de la siguiente manera: una dentro de la pista, sobre el césped del campo interior lindando con el tartán, de forma que el eje de la cámara cubriera ambas zonas de la batida; la otra se colocó sobre una caseta, también con el mismo propósito. En la competición femenina, dichas cámaras se ubicaron en el exterior de la pista, y muy próximas a las cámaras que filmaban las carreras de las competidoras.

Hay que señalar que en la competición femenina, las colchonetas ubicadas al final del área de saltos, lindando con la zona del césped natural provocaron que el inicio de la carrera coincidiera, para alguna saltadora, en la curva de la pista y/o sobrepasando el bordillo metálico (cuerda) de la misma. Esta situación podía perjudicar su concentración al obligarlas a estar pendientes de las carreras de semifinales de los 800 metros lisos y 400 metros lisos que se disputaban al mismo tiempo. Por su parte, los varones decidieron colocarla justamente al contrario, de tal forma que el viento no les molestase, ni el sol les diera de cara. Esto dio como resultado que, para la mayoría de ellos, el comienzo de la carrera se realizara desde el césped del campo interior de la pista. El hecho de correr algunos pasos sobre un terreno tan distinto al tartán pudo haber afectado ligeramente a la carrera de estos atletas, lo que provocó que prescindiéramos de analizar el tramo inicial de la carrera de algunos atletas.

#### Frecuencia de muestreo

Las imágenes fueron grabadas a una velocidad de 50 campos por segundo (50 Hz) tal y como se rige en el sistema europeo (PAL) y con una resolución y calidad de imagen de 720 × 576 píxels, siendo el ajuste de ópticas manual situando el obturador a 1/500 milisegundos.

#### Desarrollo de la competición

En la tabla siguiente, se muestra el desarrollo de la competición masculina y femenina, indicando, para cada uno de los deportistas, la altura en la que comenzaron a saltar, el número de válidos y derribos por cada altura y el resultado final.

	Intentos por cada altura – Categoría Masculina										
Atleta	1.95	2.00	2.04	2.08	2.12	2.15	2.18	2.21	2.24	2.26	2.30
A .O.	-	_	-	-	0	-	X0	_	X0	0	XXX
I. P.	-	-	-	-	_	0	-	0	xxx		
G.B.	-	-	_	0	-	-	-	0	XX-	Х	
A. B.	0	0	0	0	X0	X0	xxx				
M. P.	-	0	0	0	X0	xxx					
C. P.	-	0	0	X0	<b>X</b> 0	xxx					
J. R.	0	0	X0	0	xxx						
R. L.	XX0	0	0	xxx							
O.G.	0	0	X0	xxx							
E. A.	X0	0	X0	xxx							

Tabla 12. Desarrollo de la competición.

El número total de saltos realizados fue de setenta y ocho, treinta de los cuales correspondieron a los tres intentos en los que nunca se logra superar la altura máxima. Trece son saltos nulos que se producen durante la primera o segunda tentativa en una altura determinada: en la primera tentativa hay once saltos y sólo un nulo que se materializa en la segunda y en la tercera oportunidad, por el contrario, solo se realiza un intento válido. Por consiguiente, se confirma lo que normalmente se comenta entre técnicos especialistas, según los cuales los saltadores van mentalizados para saltar en su primer intento y no correr riesgos innecesarios, ya que, el número de nulos acumulados condiciona los puestos en la clasificación final. De ahí la importancia que tiene el adecuado planteamiento estratégico y táctico del saltador. Entre las decisiones que ha de tomar son entre otras, cuándo iniciar la competición, cuándo es arriesgado o conveniente pasar de altura, bien para guardar intentos en alturas superiores. Todo en función de reducir las posibilidades de éxito al final de la prueba.

Por lo tanto, si lo miramos en la perspectiva de los intentos válidos el número total de éstos es de treinta y cinco, los cuales son conseguidos en el primer intento veintitrés (51.1%), once al segundo intento (24.4%) y al tercer intento un sólo salto (2.4%). Sólo dos saltadores hacen una competición limpia al saltar todos sus intentos en su primera tentativa. Una vez iniciada la competición, se llevan a cabo un total de seis pases o alturas en los que el atleta renuncia a intentar.

El promedio de saltos realizados por nuestros deportistas fue de 8.43 ( $\pm$  1.27) para los hombres, con un promedio de 4.71  $\pm$  0.04 válidos y 3.43 intentos nulos, incluyendo los tres últimos sobre la altura máxima. Estos valores son similares a los que realizan los saltadores de alto nivel, tal y como refleja la siguiente tabla en la que se indica el promedio de saltos e intentos nulos de los ocho finalistas de las últimas siete competiciones de máximo nivel, las cuales incluyen dos Juegos Olímpicos, cuatro Campeonatos del Mundo al Aire Libre.

	VÁLIDOS									
	CM95	J0%	CM97	CE98	CM99	JO2000	CM2001	TOTAL		
Media	7.50	8.13	6.63	8.63	7.75	7.50	6.00	7.45		
S.D.	2.27	0.99	1.41	2.13	1.49	1.85	1.07	0.67		
				NULOS	3					
	СМ95	JO96	CM97	CE98	CM99	JO2000	CM2001	TOTAL		
Media	4.38	4.25	3.63	5.00	4.50	4.13	3.25	4.16		
S.D.	1.41	0.71	0.74	1.77	1.41	1.73	0.71	0.58		

Tabla 13. Promedios de saltos nulos y válidos en la categoría masculina.

En la tabla siguiente se muestran los intentos válidos y porcentajes en cada una de las alturas intentadas de la muestra masculina española:

	Intentos Válidos – Categoría Masculina										
Totales	1.95	2.00	2.04	2.08	2.12	2.15	2.18	2.21	2.24	2.26	2.30
1° Total: 23 (51.1%)	3	7	4	4	1	1	0	2	0	1	0
2° Total: 11 (24.4 %)	1	0	3	1	3	1	1	0	1	0	0
3° Total: 1 (2.4 %)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intentos no Utilizados: 21	5	3	3	2	2	2	2	1	1	0	0

Tabla 14. Número de intentos válidos.

Cada saltador selecciona de forma individual la altura en la que iniciará la competición de acuerdo a su nivel, estado de forma y sensaciones obtenidas durante el calentamiento. Hay que destacar que el tercer clasificado empieza su concurso en 2.15 metros que supone la altura más alta con la que un saltador inició la competición.

En esta otra tabla observamos los intentos válidos en la competición femenina:

	Intentos por cada altura - Categoría Femenina									
Atleta	1.63	1.67	1.71	1.74	1.77	1.80	1.83	1.86		
M.M.	-	_	0	0	0	0	0	XXX		
C.C.	-	-	-	0	-	<b>X</b> 0	XXX			
M.M.	-	0	-	0	XXX					
A.M.	X0	0	0	0	XXX					
C.T.	0	-	0	XXa	•					
V.F.	0	X0	0	XXX						
A.M.	0	0	X0	XXX						

Tabla 15. Desarrollo de la competición.

Sólo dos saltadoras lograron hacer una competición sin acumular nulos anteriores a la altura de eliminación, habiendo superado todas las alturas en su primer intento. La media de saltos que a escala personal realiza, en esta competición, cada saltadora fue de  $6.43 \pm 1.27$  saltos con  $3.43 \pm 0.79$  intentos nulos. Normalmente, son las saltadoras de mayor

calidad las que realizan menor número de saltos, entre otras razones porque al final del encuentro en iguales condiciones el reglamento oficial da por ganadora a la deportista que menos intentos haya realizado.

En cualquier caso, en los últimos campeonatos de máxima categoría se viene observando que la mayoría de los saltos válidos se consigue en el primer intento, lo que reduce el tiempo de duración de la prueba y por lo tanto, se exponen menos a las posibles interrupciones que puedan manifestarse a lo largo de la competición, tal y como se advierte en la tabla siguiente:

VÁLIDOS									
	CM95	JO96	CM97	CE98	CM99	JO2000	CM2001	TOTAL	
Media	9,00	10,00	8,38	8,38	8,38_	9,00	8,00	8,73	
S.D.	1,20	2,83	1,06	1,85	2,50	1,51	2,39	1,04	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				NULOS					
	CM95	JO96	CM97	CE98	CM99	JO2000	CM2001	TOTAL	
Media	4,25	4	4,75	4,625	4,125	4,375	4,25	4,34	
S.D.	0,71	1,77	1,16	1,06	2,10	0,92	1,75	0,53	

Tabla 16. Promedios de saltos nulos y válidos en la categoría femenina.

En esta ocasión, nuestras saltadoras, realizan un menor número de saltos de los que son habituales entre las participantes en las principales competiciones internacionales.

	Intento válidos – Categoría Femenina								
	1.63	1.67	1.71	1.74	1.77	1.80	1.83	1.86	
1° Total: 17 (80.9 %)	3	3	4	4	1	1	1	0	
2° Total: 4 (19.5 %)	1	1	1	0	0	1	0	0	
3° Total: 0 (0 %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
Intentos no Utilizados: 9	3	3	2	0	1	0	0	0	

Tabla 17. Número de intentos válidos.

En la competición femenina, el número total de saltos realizados durante toda la competición fue de cuarenta y cinco saltos (válidos: veintiuno y nulos: veinticuatro). De los intentos válidos, diecisiete son realizados en la primera tentativa, cuatro en la segunda y ninguno en la tercera. Este hecho, que también ha ocurrido en la competición masculina, confirma, una vez más, que pocos saltadores recurren al tercer intento. De los intentos nulos, podríamos decir que de los veinticuatro, veinte corresponden a los efectuados por las siete atletas sobre la altura sobre la que definitivamente son eliminadas.

Es curioso ver el tiempo que transcurre desde que se inicia la competición hasta el momento en el que empiezan a saltar algunas de las atletas más destacadas. A modo de ejemplo, una de las atletas inicia su prueba a la altura de 1.74, momento en el que ya quedan eliminadas tres de las participantes. Esta misma saltadora renuncia a saltar en la altura siguiente; realiza un nulo sobre 1.80 m. y queda fuera del concurso con un listón colocado a 1.83 metros. Es evidente que la atleta ha tenido que soportar una espera considerable (ocho nulos antes del pase sobre 1.77 m. y otros siete nulos más de otras participantes antes de recuperar su turno. Hay que significar que las competidoras debieron sufrir otras interrupciones con motivo de la celebración de otras disciplinas que precisaban invadir la zona utilizada para la prueba del salto de altura.

PROCEDIMIENTO SEGUIDO EN EL ANÁLISIS
TRIDIMENSIONAL

El material obtenido durante la competición fue trasladado al Laboratorio de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento Deportivo de San Cugat del Vallés donde se siguieron los siguientes pasos para el registro y tratamiento de las imágenes grabadas y de esta forma, obtener los datos necesarios para nuestro estudio.

Captura de imágenes

Se hizo un trasvase de las imágenes grabadas durante la competición al disco duro a través de la estación de trabajo Silicon Graphics. La adquisición vía hardware se realiza con comercial basado en el Conversor Galileo Vídeo y Tarjeta Gráfica Cosmocompress.

#### Calibración del espacio

Antes de la competición es necesario colocar en el espacio donde se va a desarrollar la acción a estudiar un objeto de dimensiones conocidas denominado sistema de referencia. En nuestro trabajo, empleamos dos sistemas de referencias distintos para la calibración de tres escenarios bien diferenciados para cada una de las pruebas femenina y masculina: uno para el proyecto de batida de tipo prefabricado y calibrado (Peak Perfomance<sup>8</sup>) y otros dos para los proyectos de carrera que fueron creados al uso y como se explica más adelante.

Para hacer la reconstrucción de las imágenes en tres dimensiones es imprescindible filmar con dos cámaras simultáneamente, desde dos posiciones diferentes. Por lo tanto, contamos con dos cámaras para la carrera izquierda, dos para la carrera derecha y dos cámaras para la batida derecha e izquierda.

La mencionada reconstrucción 3-D se da por realizada una vez las tres calibraciones coinciden con un mismo origen de coordenadas. Dicho origen (0, 0, 0) se localizó en este estudio teniendo en cuenta la posición de referencia (10, 0, 0) marcada por la base del saltómetro derecho. Se escogió este valor de posición en este saltómetro con el objeto de asegurar valores positivos para todos los puntos reconstruidos tanto para los saltos realizados por la derecha como por la izquierda.

El sistema de referencia u objeto control utilizado para la obtención de las coordenadas tridimensionales, en el proyecto de carrera de nuestro estudio, consistió en un tubo de plástico de 1,95 metros con separaciones o marcas de 0.15 metros. La posición del tubo en el terreno fue medida con mucha precisión para garantizar que las coordenadas X, Y, Z se asentaban coherentemente en el espacio: X coincidiendo con el eje longitudinal del

<sup>8</sup> Peak Perfomance es un sistema de análisis videográfico (Cfr. Escoda, J., R. Angulo y J.A. Prat, "Nuevas tecnologías: la visualización biomecánica", art. cit., p.32).

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Calibración es el acto o proceso de determinar ciertas medidas específicas en una cámara u otro instrumento o dispositivo para comparar con una norma con el fin de corregir o compensar errores de los registros (Cfr.LEHMANN, G. *Fotogrametría*, Ed. Técnicos asociados, s.a., Barcelona, 1975).

listón, Y coincidiendo horizontalmente con el eje perpendicular a X y Z coincidiendo verticalmente con el eje perpendicular a X.

Este tubo fue localizado en cinco puntos del espacio correspondiente a la zona próxima al foso de caídas para poder reconstruir la simulación de un objeto control de unas dimensiones que abarcara el espacio que ocuparía la carrera del saltador/a, con un total de 25 marcadores y de esta forma, adaptar la calibración a las exigencias de la prueba. Secuencialmente, se fue ubicando el mismo en cada una de dichas posiciones y sin mover las cámaras, se grabó la imagen con el sistema de referencia en el suelo colocado perfectamente vertical, ocupando un espacio aproximadamente de 12.5 × 8.5 × 1.725 metros.

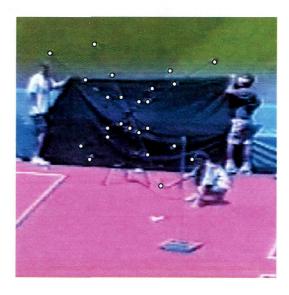


Fig. 2. Objeto de referencia para la batida.

Para el proyecto de batida se utilizó un objeto control de una forma radial compuesto por ocho varillas rígidas de aluminio y con tres marcadores cada una que conforma un cubo de 24 puntos de control y cuyas dimensiones son  $2.33 \times 1.60 \times 1.91$  metros. Este marco de referencia se situó en el escenario de la competición, sin una

localización exacta, como se observa en la figura 2. Con la ayuda de 5 marcas de referencia (2 para la ubicación de los saltómetros, 1 para el testeo de la altura, y 2 más para la horizontalidad del suelo) se rotó y trasladó el origen de coordenadas de la primera bola digitalizada a una posición de terminada tal y como se ha explicado más arriba.

Una vez creados los sistemas de referencia se puede calibrar el espacio por donde se desplazarán los deportistas, efectuándose un total de seis calibraciones, una por cada cámara. Esto significa digitalizar los sistemas de referencias en cada plano (sagital y posterior) a partir de las filmaciones de los mismos. El sistema de referencia para el estudio de la carrera queda detallado en el siguiente esquema:

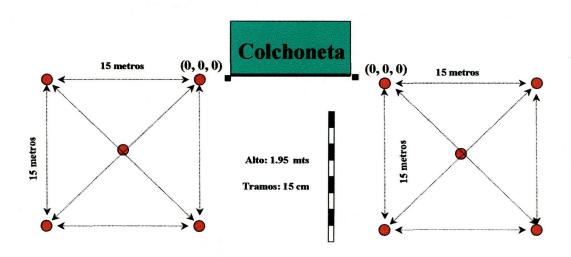


Fig. 3. Objeto de referencia para el proyecto de carrera.

Como ya hemos mencionado, necesitamos adaptar los proyectos de carrera a los de batida. Para ello, se realizó una medición entre la base -en contacto con el suelo- del saltómetro (por ejemplo, el derecho) a la base -también en contacto con el suelo- del tubo más cercano a dicho saltómetro, que a su vez coincidía con la coordenada (0, 0, 0) del sistema de referencia del proyecto de batida derecho. Tendiendo en cuenta la posición del origen de coordenadas del proyecto de batida se trasladó y se rotó el origen de coordenadas

del proyecto de carrera al punto exacto indicado por el de batida, más el espacio medido mencionado más arriba. Se realizó la misma acción para los proyectos del lado izquierdo.

#### Digitalización

Una vez concluida la filmación de las imágenes de la competición, en el laboratorio se procede a la captación y el tratamiento de los datos a través de la digitalización. La digitalización de las secuencias de los saltos estudiados nos ha permitido la obtención de las coordenadas bidimensionales (2D) del Objeto control, y de los 22 puntos de la estructura que representa al cuerpo humano en cada una de las cámaras. Este procedimiento se repite en cada fotograma estudiado del salto y se realiza sobre la pantalla del ordenador, donde llegan las imágenes grabadas a través de una tarjeta digitalizadora. La digitalización es manual y se realiza fotograma a fotograma, "señalando"con el ratón, sobre cada centro articular o punto anatómico, siguiendo el riguroso orden establecido en el modelo elegido. La imagen digitalizada es controlada por el propio ordenador y todo el sistema de digitalización es realizado por el software del CAR (sistema DMC<sup>9</sup>).

En el proyecto de carrera, los fotogramas digitalizados pertenecen al instante de cada contacto y cada despegue del pie durante las zancadas de la carrera. Esto hace que el número de imágenes analizadas sea variable en función de las características de la carrera de cada deportista, oscilando entre los 16 - 20 fotogramas por cada saltador.

En el proyecto de batida, el número de fotogramas digitalizados fue superior, oscilando entre 50 - 70 fotogramas en cada atleta. Ello incluye las imágenes desde el penúltimo apoyo de la carrera de impulso hasta el momento en que el deportista inicia la caída una vez superado el listón, es decir, todos los que cubrían dicha fase del salto.

La determinación de los errores estimados en nuestro estudio, se llevó a cabo en el Laboratorio del C.A.R. de San Cugat, específicamente para los materiales y metodología

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> DMC (*Digital Motion Capture*) es una estación de trabajo para el análisis biomecánico que consiste en la captura del movimiento digital a unas velocidades más grandes y con mucha mayor precisión.

aplicada en nuestro estudio. Estos valores corresponden a los errores sistemáticos acumulados por el sistema de filmación, digitalización y transformación de los datos obtenidos en los tres ejes del espacio (X, Y, Z). De esta forma, el error medio calculado de cada uno de los proyectos fue el siguiente:

- Para el proyecto femenino de la carrera izquierda, el error fue de 0.012 metros;
- Para el proyecto femenino de la carrera derecha, el error fue de 0.011 metros;
- Para el proyecto masculino de la carrera izquierda, el error fue de 0.011 metros;
- Para el proyecto masculino de la carrera derecha, el error fue de 0.01metros;
- Para el proyecto femenino de la batida, el error fue de 0.007 metros y
- Para el proyecto masculino de la batida, el error fue de 0.005 metros.

Suavizado

Como hemos indicado anteriormente, los errores acumulados durante el proceso, se ajustan mediante ecuaciones splines de quinto orden, desarrolladas por Wood y Jennings y tratadas con mayor profundidad en la tesis de Vaughan<sup>10</sup>, tal y como se recoge el proyecto para la Olimpiada de Barcelona-92 (ABAT). Sólo fue necesario utilizar este procedimiento matemático para el proyecto de batida, ya que, en el caso de la carrera no se hizo filtrado al no tomar todas las secuencias del gesto de forma continua, sino aquellos fotogramas que nos interesaron; es decir, los contactos (TD) y despegues (TO) de cada apoyo de la carrera.

Cálculo de las coordenadas tridimensionales

A partir de las coordenadas planas digitalizadas y mediante el método DLT se obtienen las coordenadas espaciales de cada uno de los 22 puntos digitalizados del modelo humano.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Wood, G. A. y L.S. Jennings, "On the use of spline funtions for data smoothing", *Journal of Biomechanics*, vol. 12, 1979, pp. 477-479.

#### Análisis cinemático y dinámico

A partir de los datos tridimensionales, se pasa al análisis cinemático y dinámico de cada uno de los saltos estudiados, procediéndose a evaluar la eficacia del gesto técnico ejecutado, con observaciones individualizados de cada saltador y saltadora.

### Representación gráfica (3D)

Con el programa Compamm-sport<sup>11</sup> se puede acceder a la representación interactiva tridimensional que permite la animación de los movimientos del cuerpo humano mediante una figura sólida (Robicar) creada al efecto. La posibilidad de obtener del cuerpo humano imágenes que permitan reproducir, mediante modelos animados, las acciones del atleta durante el salto, desde cualquier ángulo de visión deseado, facilita el análisis e interpretación del comportamiento técnico, por parte del entrenador o investigador de todas las acciones desarrolladas en cada una de las fases del mismo: Carrera, batida, franqueo del listón y aterrizaje. Todos estos parámetros son proyectados y comparados con modelos explicativos o referenciales propios de la modalidad analizada.

#### Obtención de las variables

De todas las variables obtenidas seleccionamos las alturas parciales del C.M. al inicio y antes del despegue y la altura máxima de vuelo; la frecuencia y amplitud de los pasos de carrera; la velocidad horizontal de cada apoyo; la velocidad vertical del C.M. en la fase de batida tanto al inicio como al final de la misma; las variaciones de las velocidades horizontales y verticales en la batida; los ángulos de flexión de la pierna en el penúltimo y último apoyo; la distancia de batida; los ángulos de los apoyos durante toda la carrera; los ángulos del C.M. en los tres pasos últimos de la carrera; los tiempos de batida; la velocidad de los segmentos libres; los radios de los últimos apoyos; los ángulos de las inclinaciones

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Compamm-Sport es una herramienta de análisis aplicada a la biomecánica deportiva que permite dar animación al modelo alámbrico. Cfr. "Nuevas tecnologías: la visualización biomecánica", art. cit., p. 33.

laterales y anteroposteriores del cuerpo en el aterrizaje y despegue de cada apoyo de la carrera y los momentos angulares de la batida en el plano sagital y frontal.

Generación de datos

Los cálculos de los parámetros biomecánicos relevantes para nuestro estudio, que fueron obtenidos por medio del software específico utilizado en el laboratorio del CAR de San Cugat, quedan explicados en los siguientes puntos:

- Velocidades y aceleraciones de 22 puntos de interés y del centro de masas;
- Posiciones del cuerpo del saltador, y sus puntos de referencia, al inicio y final de la batida;
- Posiciones del cuerpo del saltador, y sus puntos de referencia, durante el franqueo y de su CM sobre el listón;
- Trazado del CM durante la carrera y después de la batida;
- Inclinaciones anteroposterior y lateral del tronco, durante la carrera y en la batida (al contacto, en la amortiguación y en la salida) y
- Trazado de las carreras de los deportistas.

MODELO DEL CUERPO HUMANO

El movimiento del cuerpo humano es producto de muchos factores que ponen en funcionamiento los sistemas óseo, articular y muscular controlados por el sistema nervioso (Llanos)<sup>12</sup>. Desde el punto de vista deportivo, Grosser et alii <sup>13</sup> lo describen como un proceso complejo y orientado en un objetivo, que como es lógico hace referencia a la mejora del resultado y/o la mejora de la calidad de una acción. Para ellos, la orientación en un objetivo indica que la realización del movimiento siempre sigue un fin o bien la

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Llanos, F. *Introducción a la biomecánica del aparato locomotor*. Universidad Complutense, Madrid, 1988, p. 222.

Grosser, M., H. Hermann, F. Tusker y F. Zintl, El movimiento deportivo: Bases anatómicas y biomecánicas, Ediciones Martínez Roca, SA., Barcelona, 1991, p. 13-14.

superación de una tarea motora, lo que resalta y sitúa en un primer plano, a su vez lo consciente.

Existen diferentes perspectivas y métodos para analizar los movimientos humanos a tenor de las múltiples investigaciones de las actividades deportivas que exigen el estudio de los movimientos de los segmentos del cuerpo y las fuerzas que actúan entre los mismos.

La práctica del entrenamiento, que busca conocer la configuración y la estructura del movimiento para optimizar las técnicas motrices, implica mediciones precisas para determinar aspectos como las características estructurales del cuerpo que van a simplificar las descripciones de los movimientos<sup>14</sup>, como son para nuestro estudio los parámetros inerciales (el porcentaje de masa de los segmentos respecto a la masa total, longitudes de los segmentos y su CG, y los momentos principales de inercia de las masas respecto a los tres ejes articulares). Sin embargo, los momentos de inercia del cuerpo humano han sido poco estudiados siendo examinados a través de tres métodos principalmente: el método del péndulo, la modelización matemática y el scanner de rayos gamma<sup>15</sup>.

Desde un punto de vista metodológico, el uso de las técnicas instrumentales para los estudios biomecánicos que analizan detalladamente el movimiento humano, implica, una vez registradas las imágenes que se van a estudiar, hacer el modelado del cuerpo humano. La biomecánica deportiva se vale de distintos modelos mecánicos en función del tipo de movimiento que se quiere estudiar; Una vez definido, se procede a la digitalización de las secuencias y así obtener los valores de las posiciones tridimensionales de los puntos que se han determinado. Cada punto digitalizado representa una articulación; la unión de dos centros articulares vecinos se materializa mediante los segmentos del cuerpo y la unión sucesiva de éstos conforma la figura del deportista que ejecuta los movimientos que vamos a estudiar.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> *Ibidem*, p. 93.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Forwood, M.R., R.J. Neal y B.D. Wilson, "Scaling segmental moments of inertia for individual subjects", *Journal of biomechanics*, vol. 18, núm. 10, 1985, p.755.

El modelo antropométrico que se ha seguido en nuestro estudio está basado en un modelo genérico que el profesor Dapena<sup>16</sup> ha experimentado con éxito. Este modelo fue diseñado con 22 puntos y un sistema de 14 segmentos simbolizados por delgadas varillas. El valor de los segmentos y las localizaciones del C.G. se ha extraído de los trabajos con cadáveres de Dempster<sup>17</sup>, excepto para el segmento tronco/cabeza, que utiliza los de Clauser<sup>18</sup> et alii quienes localizan estos segmentos por separado en dos partes proporcionales a la masa, ya que Dempster determinó para dicho segmento la séptima vértebra cervical, la cual es muy difícil de observar durante las filmaciones. Para el cálculo de los parámetros inerciales corporales, se emplearon los datos de los trabajos de Whitsett<sup>19</sup> aunque fueron personalizados con la estatura y peso de cada sujeto.

Los veintidós puntos del cuerpo son: vértex, cuello, hombros, codos, muñecas, nudillos, caderas, rodillas, tobillos, talones y punta de los pies y los segmentos: cabeza, tronco, dos brazos, dos antebrazos, dos manos, dos muslos, dos piernas, y dos pies.

En la tabla siguiente quedan definidos el número de puntos según el orden respetado en la digitalización, con la representación gráfica de los marcadores en el modelo alámbrico y dichos puntos superpuestos en un atleta que ostentó el récord del mundo.

Dempster, W. T., "Space requirementes of the stated operator", WADC, *Technical Report*, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1955, pp. 55-159.

McDonald C., y J. Dapena, "Linear Kinetics of the men's 110 m. and women's 100 m. hurdles races", Medicine and Science in Sports and Exercise, vol. 23, núm. 12, 1991, pp. 1382-1391.

Clauser, C.E., J.T. McConville y J.W. Young, "Weight, volume and center of mass of segments of the human body", *Journal of Biomechanics*, núm. 10, 1969, pp. 269-277.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> Whittset, C.E., "Some dynamic response characteristics of weightless man", AMRL, *Technical Report*-63-18, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1963.

Puntos Digitalizados en cada Saltador/a							
Punto	Localización	Tipo					
1	Cabeza (vertex)	Punto Anatómico					
2	Cuello (atlas)	Punto Anatómico					
3	Esternón (superior)	Punto Anatómico					
4	Hombro Derecho	Centro Articular					
5	Codo Derecho	Centro Articular					
6	Muñeca Derecha	Centro Articular					
7	Dedos Mano Derecha	Punto Anatómico					
8	Hombro Izquierdo	Centro Articular					
9	Codo Izquierdo	Centro Articular					
10	Muñeca Izquierda	Centro Articular					
11	Dedos Mano Izquierda	Punto Anatómio					
12	Cadera Derecha	Centro Articular					
13	Rodilla Derecha	Centro Articular					
14	Tobilla Derecha	Centro Articular					
15	Talón Derecha	Punto Anatómico					
16	Punta Pie Derecho	Punto Anatómico					
17	Cadera Izquierda	Centro Articular					
18	Rodilla Izquierda	Centro Articular					
19	Tobillo Izquierdo	Centro Articular					
20	Talón Izquierdo	Punto Anatómico					
21	Punta Pie Izquierdo	Punto Anatómico					
22	Nariz	Punto Anatómico					

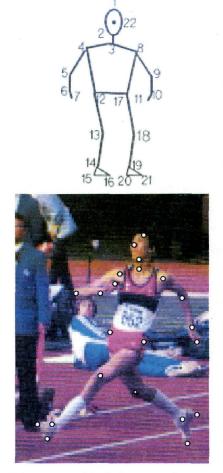


Tabla 18. Definición de los 22 puntos del cuerpo humano.

Fig. 4. Representación de los marcadores.

En la siguiente tabla observamos las características de los catorce segmentos del modelo básico del cuerpo, la posición del C.M. respecto al segmento y el porcentaje de la masa que le corresponde a dichos segmentos con respecto al total del cuerpo humano, siguiendo el protocolo de Dapena<sup>20</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Dapena, J., "A method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity", *Journal of Biomechanic*, vol. 11, 1978, pp. 251-256.

SEGMENTO	PUNTO PROXIMAL	PUNTO DISTAL	C. de M.	MASA
Cabeza	Cuello	Vértex	53.58 %	7.30 %
Brazo derecho	Articulación Hombro	Articulación Codo	46.30 %	2.70 %
Antebrazo derecho	Articulación Codo	Articulación Muñeca	43.00 %	1.60 %
Mano derecha	Articulación Muñeca	3 nudillos	50.60 %	0.66 %
Brazo izquierda	Articulación Hombro	Articulación Codo	46.30 %	0.70 %
Antebrazo izquierda	Articulación Codo	Articulación Muñeca	43.00 %	1.60 %
Mano izquierda	Articulación Muñeca	3 <sup>er</sup> nudillo	50.60 %	0.66 %
Muslo derecha	Articulación Cadera	Articulación Rodilla	43.30 %	9.88 %
Pantorrilla derecha	Articulación Rodilla	Articulación Tobillo	43.30 %	4.65 %
Pie derecho	Talón	Punta del pie	42.90 %	1.46 %
Muslo izquierda	Articulación Cadera	Articulación Rodilla	43.30 %	9.88 %
Pantorrilla izquierda	Articulación Rodilla	Articulación Tobillo	43.30 %	4.65 %
Pie izquierda	Talón	Punta del pie	42.90 %	1.46 %
Tronco	Articulación de Cadera derecha e izquierda	Esternón (superior)	56.17 %	50.80 %

Tabla 19. Parámetros inerciales.

Los sofisticados y complejos métodos, que determinan los parámetros inerciales de los segmentos del cuerpo humano, unido a la falta de rigurosidad, de índole variada, no terminan de satisfacer a los investigadores. La existencia de importantes errores de cálculo así como la avanzada edad de los sujetos utilizados como muestra, además del escaso número de los mismos, etc., desvirtúan la realidad corpórea de la población de sujetos vivos y en particular, la de los deportistas. A continuación, exponemos algunos de los procedimientos para la localización de los C.M.:

1. Modelos elaborados a partir de cálculos matemáticos que representan los segmentos y simulan la morfología humana mediante la división del cuerpo en un número determinado de sólidos geométricos<sup>21</sup>. Sirvan de ejemplo el modelo de Hanavan<sup>22</sup> de 1964 que lo divide en quince segmentos con el uso de veinticinco medidas

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Cfr. Hatze, H., "A mathematical model for the computational determination of parameter values of anthropomorphic segments", en *Journal of Biomechanics*, vol. 13, 1980, pp. 833.

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Citado por Miller, D. I. y Morrison, W.E. en "Prediction of segmental parameter using the Hanavan human body model", en *Medicine and Science in Sport*, vol.7, núm. 3, 1975, pp. 207-212.

antropométricas: el de Yeadon<sup>23</sup> de 1990 que divide el cuerpo en once segmentos basados en cuarenta sólidos con más de noventa y cinco medidas antropométricas; el de Hatze en 1980 de diecisiete segmentos con más de 242 medidas antropométricas y el modelo elíptico de Weinbach<sup>24</sup> de 1938, o de Jensen<sup>25</sup> de 1978, que secciona al cuerpo en discos elípticos de 20 mm de ancho. Otros autores que trabajaron en esta línea fueron Whitsett en 1963 y Plagenhoef<sup>26</sup> en 1983.

2. Método basado en los datos promedio y/o ecuaciones de regresión de los trabajos publicados. El proceso requiere extraer información de forma directa o/e indirecta. Sirva de ejemplo, los autores que trabajaron con cadáveres como Dempster en 1955, que siguió los conocidos protocolos de Brauner y Fischer de 1989 y analizó ocho cadáveres con ligero un cambio en la técnica de desmembración; el equipo de Clauser en 1969 desarrollaron una serie de ecuaciones para predecir el peso, volumen y el C.M. de los segmentos del cuerpo con técnicas experimentales en trece cadáveres masculinos: Chandler et alii<sup>27</sup>en su trabajo de 1975 y mejoran los métodos de Clauser; Mc-Conville et alii 28 en 1980 obtienen medidas antropométricas de treinta y un sujetos varones y desarrollan ecuaciones para determinar los momentos de inercia de los segmentos del cuerpo humano. Young et alii<sup>29</sup> hacen lo propio con cuarenta y seis mujeres.

Las ecuaciones de regresión han permitido a los investigadores predecir para sujetos vivos, la masa y las direcciones de los principales ejes de cada segmento del cuerpo usando medidas antropométricas simples<sup>30</sup>. Sin embargo, las tablas con los resultados obtenidos con cadáveres se siguen utilizando hoy en día como la alternativa más viable para presentar

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Citado por Zatsiorsky, V.M., en su libro, Kinetics of Human Motion, Human Kinetics, Champaign, IL, 2002, p. 320. <sup>24</sup> *Ibidem*, p.320.

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> *Ibidem*, p.320.

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Citado por Navarro, E. en "Procedimientos para la obtención de los parámetros inerciales corporales en biomecánica deportiva", en, Aguado, J., Biomecánica aplicada al deporte, Universidad de León, 1998, p.285. <sup>27</sup> Citado por Verstraete, M. C. en "A technique for locating the center of mass and principal axes of the lower limb", Medicine and science in sport and exercise, vol. 24, núm. 7, 1992, p. 826. <sup>28</sup> *Ibídem*, p. 826.

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> *Ibidem*, p. 826.

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> *Ibidem*, p. 826.

la distribución de las masas del cuerpo. Tal es el caso del laboratorio del Centro de Alto Rendimiento de Barcelona para este estudio en concreto.

- 3. Por el contrario, las investigaciones de Zatsiorsky, Aruin y Seluyanov<sup>31</sup> con 100 sujetos vivos se efectuaron con un scanner de rayos gamma. Aunque los resultados estaban disponibles desde 1981 no fueron publicadas hasta 1990. No obstante, a pesar de la alta precisión tampoco tuvieron la aceptación suficiente por parte de los científicos.
- 4. De Leva<sup>32</sup> mejoró el método de los investigadores rusos de forma sustancial confeccionando unas tablas antropométricas de masas y distancias de los segmentos por sexos. Supera gran parte de las limitaciones existentes como los errores asociados a los distintas fuentes de medición, y enmienda uno de los problemas referidos a la definición de los puntos al desechar los puntos anatómicos externos para remplazarlos por los centros articulares (internos).

#### TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Los datos, una vez establecidos para cada parámetro, fueron almacenados en una base de datos (Excel de Microsoft) y posteriormente analizados mediante un paquete informático de estadística (SPSS 11.0 para Windows).

#### Estadística descriptiva

Se utilizó una estadística descriptiva para representar la variabilidad de los parámetros analizados en cada estudio. Se manejaron como valores de uso la media como medida de tendencia central (tamaño promedio de los valores de la serie analizada) y las desviaciones

<sup>&</sup>lt;sup>31</sup> Zatsiorski, V.M., Kinetics of human motion, opus cit., p. 288.

<sup>&</sup>lt;sup>32</sup>Leva, P. de, "Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segments inertia parameters", en *Journal of Biomechanics*, vol. 29, núm. 9, 1996, pp. 1223-1230. Véase asimismo del mismo autor, "Validity and accuracy of four methods for locating the center of mass of young male and female athletes", en, *Abstracts of the International Society of Biomechanics*, París, p. 318.

típicas para medir el esparcimiento de los valores propios de cada sujeto que compone la muestra.

#### Estadística inferencial

Con el fin de comparar los comportamientos de nuestra muestra con los valores de referencia se hizo una estadística comparativa en la que, por las características de la muestra (bajo número de sujetos) y la disposición de los resultados, precisó según los casos, de análisis no paramétricos con los que evaluar las variables analizadas en cada capítulo. Los métodos no paramétricos representan pruebas equivalentes a t-Student y se utilizaron en estimaciones de parámetros correspondientes a series que presentaban distintas distribuciones, en las que se consideró el criterio de utilización de la media por estimar que este valor coincidía con la mediana. Básicamente, la prueba de U de Mann-Whitney por ser una prueba más potente que las de la mediana que mide series diferentes de la misma población empleando, en este caso, los rangos de los casos.

En los casos necesarios, se hizo una prueba de contraste de normalidad para las series analizadas (test de Kolmogorov-Smirnov). La prueba de normalidad (distribución normal o Gausiana) es necesaria para la interpretación de las distribuciones continuas de probabilidad, la aplicación de inferencias en el análisis de los datos y la selección de las pruebas adecuadas de acuerdo a la forma en que se distribuyen los datos de la muestra.

## TRES ESTUDIOS FUNDAMENTALES

# CARACTERÍSTICAS CRONOLÓGICAS, MORFOLÓGICAS Y CONSTITUCIONALES DEL SALTADOR/A DE ALTURA

La realización de un estudio de esta naturaleza se justifica al tratar de plantear análisis comparativos entre los comportamientos técnicos que presentan los saltadores nacionales (hombres y mujeres) de máximo nivel con el de otros deportistas extranjeros de su mismo sexo que, por sus marcas, participan en competiciones internacionales. No sería correcto hacer una comparación técnica entre ambas muestras si las características cronológicas, morfológicas y constitucionales de ambos grupos de deportistas presentaran diferencias significativas entre ellos.

#### IMPORTANCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS CRONOLÓGICAS DE LOS DEPORTISTAS

La edad de los participantes en competiciones de alto nivel ha sufrido un importante cambio respecto a la trayectoria que se pudo observar en los comienzos del deporte moderno. Mientras que en los años setenta del pasado siglo la edad de los deportistas en los Juegos Olímpicos o en otras grandes competiciones era menor que la actual, en las últimas dos décadas se ha podido comprobar un aumento en la edad media de estos participantes.

Aquella eventualidad había obligado a los organismos competentes a establecer una edad mínima de participación en los campeonatos de alto nivel de algunas modalidades deportivas. Hoy, sin embargo, la enorme profesionalización del deporte ha cambiado radicalmente la situación: nos encontramos ante un nuevo fenómeno sociológico. Se van a mover intereses económicos que va a determinar que la vida activa de un deportista se alargue de forma significativa y retrase la retirada de la alta competición. No es extraño ver participantes con una media de edad por encima de lo que antes era habitual. Los avances en medicina, rehabilitación, ergonomía y teoría del entrenamiento, entre otros cuerpos de conocimiento, han hecho que los deportistas

puedan soportar, actualmente, las exigencias de la alta competición hasta edades más avanzadas.

# Edad de máximos rendimientos en diferentes modalidades deportivas

Cada disciplina deportiva tiene su propia edad para iniciarse en el entrenamiento, así como para especializarse buscando obtener grandes rendimientos a nivel internacional o lo que es lo mismo, llegar al máximo resultado posible. Las características del deporte y sus exigencias psicológicas, condicionales y/o coordinativas marcarán los límites cronológicos de cada una de esas etapas.

Para poder pronosticar el futuro deportivo de un atleta y, además, llevar a cabo una adecuada planificación de su evolución, es importante conocer la edad en la que la mayor parte de los campeones alcanzan los máximos resultados deportivos en cada especialidad. Este aspecto nos servirá de referente inicial para la planificación deportiva a largo plazo. Veamos en el siguiente gráfico las fases correspondientes a la etapa de los grandes logros deportivos (García Manso *et alii*)<sup>1</sup>:

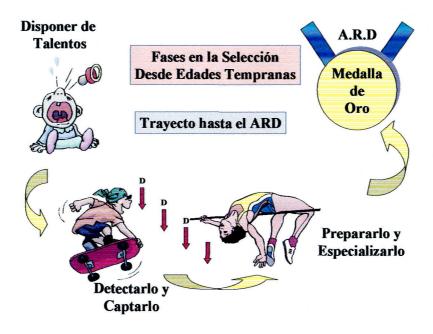


Fig. 1 Etapas de grandes logros deportivos.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> GaManso, J.M., "Planificación a largo plazo del entrenamiento con talentos", Congreso Internacional de Talentos Deportivos: Detección, entrenamiento y gestión, Libro de Actas, Gobierno de Canarias, Las Palmas, Marzo, 2003, p. 21.

Existen etapas de la vida que se corresponden con variaciones y sesgos diferenciadores de la edad psicológica y biológica de un deportista, las cuales justifican momentos diferentes en los que determinar la forma de afrontar el entrenamiento, e incluso la participación en competiciones específicas de cada modalidad deportiva. Estos intervalos de edad, posteriormente, deben ser relacionados con las etapas de maduración y con las previsiones de futuro para cada disciplina, y de esta manera, poder planificar o estudiar correctamente el proceso de entrenamiento a largo plazo del deportista<sup>2</sup>.

La observación durante muchos años de la vida deportiva de un gran número de atletas ha permitido obtener diferentes conclusiones de tipo general que deben ser tenidas en cuenta en la planificación del entrenamiento, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera, según Verjochanski y Viru<sup>3</sup>:

- En el proceso de mejora del atleta, el nivel absoluto y medio de preparación de la condición especial aumenta año tras año.
- El nivel inicial de preparación de la condición especial en cada ciclo anual, es menor que el ciclo final, pero mayor que el ciclo inicial de la temporada anterior.
- Cuanto mayor es el nivel de cualificación del deportista, los incrementos de los índices de preparación de la condición especial son, año tras año, cada vez mayores.
   Este nivel de prestación varía a lo largo de un ciclo de entrenamiento.

Véase en el siguiente cuadro, las edades estimadas, para cada modalidad deportiva, en las que se deben lograr los primeros resultados de nivel internacional y los máximos logros deportivos, así como la estabilización en la élite según Martín<sup>4</sup>:

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> G<sup>a</sup> Manso, J.M., J. Campos, P. Lizaur y C. Pablo, El talento Deportivo. Formación de élites deportivas, Gymnos, Madrid, 2002, p. 31.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> G<sup>a</sup> Manso, J.M., opus cit., p. 5.

Disciplina	Etapa de lo Resultados In		Etapa de Resultados	Óptimos Deportivos	Etapa de Es en A.	
Deportiva	Años (H)	Años (M)	Años (H)	Años (M)	Años (H)	Años (M)
Boxeo	19-20 años		21-25 años	-	26-28 años	<u> </u>
Esgrima	18-21 años	17-19 años	22-28 años	20-26 años	28-35 años	27-29 años
Halterofilia	20-24 años	-	25-30 años	-	31-34 años	
Lucha	20-23 años	-	24-8 años	-	29-32 años	-
Ciclismo	19-21 años		22-26 años	<u>-</u>	27-30 años	-
Gimnasia	19-21 años	15-18 años	22-27 años	19-24 años	28-32 años	25-30 años
Baloncesto	20-22 años	16-18 años	23-26 años	19-25 años	27-30 años	26-28
Fútbol	19-21 años	<u>-</u>	23-26 años	<u>-</u>	27-30 años	-
Waterpolo	20-21 años	-	22-26 años	-	27-30 años	-
Remo	17-20 años	17-19 años	21-25 años	20-23 años	26-28 años	24-27 años
Kayak	18-20 años	16-18 años	21-25 años	19-24 años	26-28 años	25-30 años
Vela	23-25 años	-	26-35 años	-	36-40 años	-
Natación	14-17 años	12-15 años	18-22 años	16-20 años	23-25 años	21-23 años

Tabla 1. Edades para cada modalidad deportiva.

Asimismo, en el cuadro siguiente podrá observarse las edades estimadas, para cada disciplina atlética, en las que se deben lograr los primeros resultados de nivel internacional y los máximos logros deportivos, así como la estabilización en los altos resultados<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Ibidem.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Martín, D., Grundlagen der Trainingshlehre (II), Berlín, Schorndorf, 1980.

	ATLETISMO								
		os Primeros eternacionales	•	Óptimos Deportivos	Etapa de Estabilización en el A. R. D.				
Prueba	Años (H)	Años (M)	Años (H)	Años (M)	Años (H)	Años (M)			
100 metros	19-21	17-18	22-24	20-22	25-26	23-25			
400 metros	22-23	20-21	24-26	22-24	27-28	25-26			
800-1500 metros	23-24	20-21	25-27	22-25	27-29	26-27			
5000-10000 metros	24-25	-	26-28	-	29-30	-			
Altura	20-21	17-18	22-24	19-22	25-26	25-27			
Longitud	21-22	17-19	23-25	20-22	26-27	23-25			
Pértiga	23-24	-	25-28	-	29-30				
Peso	22-23	18-20	25-26	21-23	26-27	24-25			
Disco	23-24	18-21	25-26	22-24	27-28	25-26			
Decatlón	23-24	-	25-26		27-28	-			

Tabla 2. Etapas para cada disciplina atlética. Alto Rendimiento Deportivo (ARD).

Al mismo tiempo toda la información obtenida sobre la evolución del rendimiento de estos deportistas ha permitido saber cuál es el tiempo que necesitará un atleta para alcanzar su madurez deportiva y por ende su posible máximo rendimiento. Para una planificación racional del proceso es importante conocer los ritmos de incremento que normalmente se suelen dar en una modalidad deportiva, así como la duración total del periodo de registro de altos rendimientos en la misma. Volkov y Fillin<sup>6</sup> señalan los siguientes plazos hasta que se logran alcanzar las máximos prestaciones deportivas en las diferentes disciplinas, como puede observarse en el cuadro siguiente:

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Volkov, V.M. y Fillin, V.P., Selección Deportiva, Ed. Raduga, Moscú, 1989.

DEPORTE	HOMBRES	MUJERES
Atletismo	5.8 años	5.5 años
Acrobacias	7.2 años	6.4 años
Ciclismo Ruta	5.7 años	4.2 años
Ciclismo Pista	6.0 años	4.9 años
Fútbol	7.6 años	
Gimnasia Artística	7.7 años	6.8 años
Gimnasia Rítmica		7.3 años
Halterofilia	6.9 años	
Natación	5.3 años	4.4 años
Tenis	9.0 años	7.3 años
Voleibol	8.5 años	8.0 años
Remo	5.2 años	5.2 años

Tabla 3. Tiempo (en años) para alcanzar el alto rendimiento.

Los datos referenciados en la tabla anterior no deben ser asumidos de forma estricta, sino que deben ser utilizados como unos valores con los que poder comprender de forma aproximada, la duración de las diferentes etapas que existen en la formación de un deportista que quiera llegar a las más altas cotas de rendimiento en un deporte. Casi todos los teóricos del entrenamiento coinciden en señalar que la duración del proceso de formación, desde que se inicia hasta que el deportista alcanza resultados que se puedan considerar de muy alto nivel, es normalmente de 6-8 años, aunque lógicamente variará por cada tipo de deporte y de las peculiaridades propias del deportista. Zotko<sup>7</sup> habla de 8-12 años para la formación de un saltador de nivel internacional.

Todo parece indicar que un inicio demasiado temprano plantea la necesidad de que los plazos de formación se aumenten y las edades de comienzo se adelanten con la finalidad de poder someter al organismo al suficiente estímulo de entrenamiento que

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Zotko, R., "Capacitá di salto-criteri di selezione e principi di sviluppo degli atleta", *Atleticastudi*, Roma, vol. 30, núm. 3-4, 1999, pp. 25-36.

nos garantice la correcta evolución del deportista para alcanzar los máximos rendimiento deportivos.

Tampoco podemos olvidar que la edad en la que los deportistas obtienen su mejor registro se encuadra dentro de un intervalo de años bastante amplio, aunque existe una franja de edad que se puede considerar como más propicia en cada disciplina para lograr las mejores prestaciones. A los 6-8 años indicados como necesarios para alcanzar altos rendimientos deportivos, hay que añadir los que el deportista se mantiene en activo con importantes resultados que le permiten permanecer formando parte de ese grupo de deportistas que tienen su mismo nivel de rendimiento. Vorobiev<sup>8</sup> opina que más importante que una edad común de máximo rendimiento, se debería considerar el concepto de *años de entrenamiento*, ya que, al menos para la halterofilia, un deportista que tenga una antigüedad de 12-15 años de entrenamiento difícilmente podrá superar sus mejores registros, siendo éste el parámetro de mayor interés para el estudio de la evolución del rendimiento de un sujeto.

Probablemente, lo más conveniente para una correcta selección de un deportista sería analizar las dos variables antes descritas: edad clásica en la que se alcanzan las mejores prestaciones deportivas en una modalidad y años de práctica regular de la misma. A estos dos aspectos debemos aplicar otros específicos para cada modalidad deportiva.

Otras perspectivas diferentes mencionan que la vida deportiva al máximo nivel de rendimiento está disminuyendo en los últimos años. Platonov y Fessenko<sup>9</sup> señalan que en las últimas décadas la duración de la carrera deportiva al más alto nivel se ha visto reducida en 1.5 a 2.0 veces. Plantean que es poco frecuente que alguien logre mantenerse más de 4-5 años en el máximo nivel. Sin embargo, los mismos autores citan al nadador ruso Salnikov, quien, tras ganar el Campeonato de Europa del 1977 con diecisiete años, logró batir el récord de 800 metros en 1988 con una edad de 28 años. También en el atletismo, y de forma más concreta en el salto de altura, podemos encontrar ejemplos de longevidad competitiva manteniéndose en el máximo nivel:

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Vorobiev, A.N., *Halterofilia. Ensayo sobre fisiología y entrenamiento deportivo*, Ed. Libros de México, México, 1974, p. 27.

Ulrike Meyfarth consiguió su primer oro olímpico durante los Juegos olímpicos de Munich - 1972 a la edad de 16 años, para repetir ese resultado tres ciclos olímpicos más tarde (Los Ángeles - 1984) con 28 años de edad o el discóbolo Al Oerter, con cuatro medallas de oro en Juegos Olímpicos.

Medvedeev<sup>10</sup> hace referencia al comienzo de la práctica de la halterofilia y destaca el papel que juega en todo el proceso la edad a la que se comenzó la práctica de dicha modalidad. En este sentido aporta datos de otros especialistas que señalan que los levantadores que comenzaron a los 12 años lograron el nivel de maestro del deporte a los 4-5 años de entrenamiento, mientras que el de maestro internacional lo lograban después de 6-8 años. Un espacio tan prolongado de tiempo debe ser organizado cuidadosamente en etapas que contienen objetivos diferentes.

#### METODOLOGÍA

El desarrollo de un aspecto de este trabajo se basa en la realización de una revisión bibliográfica de los manuales estadísticos oficiales que publica la Asociación Española de Estadísticos de Atletismo, The Association of Track & Field Statisticians, la Real Federación Española de Atletismo y los libros de historia del atletismo:

- VV.AA., Boletines, Asociación Española de Estadísticos de Atletismo
   (AEEA), núms. 1-66, (Junio 1987-Enero 2003), Madrid.
- ASCORBE, F., Lista Española de marcas de todos los tiempos (cerrado a 31.12.1998), (ed.), Madrid, 1999.
- HERNÁNDEZ, J.L. I. MANSILLA. Amuario Atlético Español Ranking 1999-2000, Departamento de Internet y Estadística de la R.F.E.A., Madrid, 2001;
- VV.AA El Atletismo Español en pista cubierta, R.F.E.A. y A.E.E.A., Madrid, 1995;

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Platanov, V.N. y s.l. Fessenko, *Los Sistemas de entrenamiento de los mejores nadadores del mundo*, Ed. Paidotribo, Barcelona, tomo I, 1995, p.89.

Medvedevv, A.C., "Premisas para elaborar un programa de halterofilia a largo plazo", Moscú, 1988. [Traducción mecanografiada por S. Tijonov]

- VV.AA., Athletics (1987 a 2002), Mathius, P. (ed), The Association of Track
   & Field Statiscians(ATFS), Gran Bretaña.
- Ranking anual de España 1987 a 2002, R.F.E.A., Madrid.
- VV.AA., El libro de la Pista Cubierta, R.F.E.A., 1986.
- QUERCETANI, R.L., Historia del Atletismo Mundial 1860-1991, Ed.
   Debate, Madrid, 1992.
- PARIENTE, R., La fabulose historie de l'athletisme, Odil, France, París, 1978.
- COMITÉ ORGANIZADOR DE SEVILLA'99, Historia de los Mundiales y del Atletismo Español, Ed. Comité Organizador de Sevilla'99, 1999.

#### **ESTADÍSTICA**

Se utilizaron estadísticos descriptivos del conjunto de variables analizadas (tamaños de las series, media aritmética y desviación típica) para explicar las características de las mismas en las dos muestras (nacional y de referencia). También se empleó la estadística comparativa para dos muestras independientes, utilizando la prueba no parámétrica de U de Mann-Whitney. Se aceptaron como diferencias de muestras estadísticamente significativas aquellas cuya probabilidad, de ser debidas al azar, fuese igual o inferior al 5%. El tratamiento de los datos se realizó con un paquete estadístico comercial (SPSS-11. 0.).

### Edad del máximo rendimiento en el salto de altura

El estudio de la evolución de la edad en la que los saltadores/as de altura alcanzan grandes registros deportivos se puede abordar a partir del análisis de los participantes en las principales competiciones deportivas como son los Juegos Olímpicos, los Campeonatos del Mundo o los Campeonatos de Europa, o bien investigando a los atletas clasificados en los primeros lugares de los rankings mundiales de todos los tiempos. De estas dos formas de hacer el análisis de la edad a la que se obtienen los mejores resultados en salto de altura no necesariamente deben dar la misma información ni los mismos resultados. Los siguientes gráficos nos muestran la edad media de

deportistas olímpicos en las diferentes modalidades de atletismo según investigaciones de Carter<sup>11</sup>:

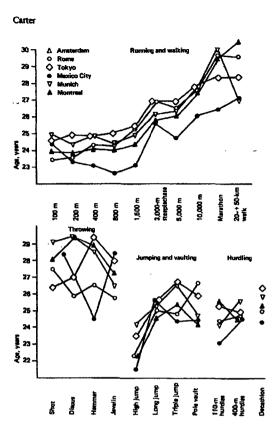


Fig. 2. Edad de los participantes en las Olimpiadas (atletismo).

Al estudiar a los deportistas participantes en las competiciones deportivas de máximo interés internacional, lo que hacemos es indagar en la etapa de estabilización de los máximos resultados deportivos, ya que, en dichos eventos participan aquellos deportistas mejor clasificados durante la etapa en la que se celebra el campeonato, sin que eso signifique que sea el mejor año de la vida deportiva de todos los practicantes. Esto permitirá conocer en qué franja de edad se mueven los participantes de esta modalidad atlética y que acceden al alto rendimiento, a la vez que nos permitirá saber si nuestra muestra responde a las peculiaridades que caracterizan la muestra de referencia que, en nuestro caso, se centra en el perfil de saltadores/as de nivel internacional. Sin embargo, al estudiar la edad de los atletas mejores clasificados en los rankings de todos los tiempos, lo que estamos haciendo es indagar la edad de los deportistas en el, a priori, mejor momento de su vida deportiva.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Carter, J.E.L., *Physical Structure of Olympic Atlhetes*, Karger, Basel, 1984, p.68.

# Edad de los saltadores/as de altura participantes en los Juegos Olímpicos

Los Juegos Olímpicos son la cita deportiva de más alto nivel, que aúna simbolismo y rendimiento. A ella asisten los mejores deportistas de cada país, de todas las disciplinas incluidas en el programa olímpico oficial, que primeramente han conseguido la marca mínima establecida por las federaciones nacionales o la acreditación correspondiente, o bien, en casos muy especiales con deportistas de gran relevancia han accedido con una invitación especial del Comité Internacional Olímpico (C.I.O.), o en su defecto han sido seleccionados por los Comités Olímpicos de sus países sin marca mínima/acreditación. Por este motivo, resulta un acontecimiento único para poder analizar con acierto el perfil que caracteriza a los practicantes de cada una de estas modalidades deportivas.

Si observamos la siguiente tabla, podemos ver como ha evolucionado la edad de aquellos saltadores/as que participaron en algunas de las Olimpiadas celebradas hasta la fecha. La mayor edad corresponde, en el caso de los varones, a los participantes en los dos últimos Juegos Olímpicos de Atlanta - 1996 y Sydney - 2.000 (26.0 y 25.8 años). Entre las mujeres, esta edad corresponde a las participantes en los Juegos Olímpicos de Atlanta-1996 (27.3 años). La menor edad de los participantes se dio en los Juegos Olímpicos de Méjico - 1968 (hombres: 21.5 años y mujeres: 20.5 años).

Campeo	onato	Edad de Máximo Rendimiento				
		Hombres (años)	Mujeres (años)			
Amsterdan	1928	-	-			
Roma	1960	22.3 años	•			
Tokio	1964	23.5 años	23.2 años			
México	1968	21.5 años	20.5 años			
Munich	1972	24.2 años	24.2 años			
Montreal	1976	22.3 años	22.6 años			
Moscú	1980	23.0 años	25.0 años			
Los Ángeles	1984	24.0 años	26.0 años			
Seúl	1988	25.0 años	26.0 años			
Barcelona	1992	24.3 años	24.3 años			
Atlanta	1996	26.0 años	27.3 años			
Sydney	2000	25.8 años	26.1 años			

Tabla 4. Edad de los participantes en las Olimpiadas.

### Edad de los participantes en los Campeonatos del Mundo

Los Campeonatos del Mundo de atletismo se han convertido en una importante competición atlética de prestigio similar, por su nivel, al de unos Juegos Olímpicos. Iniciados en Helsinki en 1983, hace que se le considere una competición relativamente joven. En sus tres primeras ediciones, fue una competición con una periodicidad de cuatro años, aunque a partir de los terceros campeonatos celebrados en Tokio en 1991, su periodicidad se estableció de forma bianual.

La edad de los participantes en la prueba de salto de altura en los Campeonatos del Mundo es muy parecida a la que encontramos en los Juegos Olímpicos, tal y como podemos observar en la tabla siguiente:

	Hombres							
EDAD	Helsinki 1983	Roma 1987	Tokio 1991	Stuttgart 1993	Goteborg 1995	Atenas 1997	Sevilla 1999	Edmonton 2001
Media-3	20.8	23.6	23.3	23.5	27.7	27.3	23.6	24.3
Media-8	23.1	25.0	24.4	25.2	26.0	27.4	26.0	26.0
Media-12	22.5	24.2	22.3	24.9	25.6	26.5	25.4	27.1
			•	Mujeres				
EDAD	Helsinki 1983	Roma 1987	Tokio 1991	Stuttgart 1993	Göteborg 1995	Atenas 1997	Sevilla 1999	Edmonton 2001
Media-3	25.8	25.8	23.3	25.9	28.8	27.1	27.7	27.3
Media-8	25.8	24.0	24.5	24.9	26.9	26.0	26.3	27.2
Media-12	23.9	24.9	23.8	24.9	26.5	25.5	27.1	26.2

Tabla 5. Edad de los finalistas participantes.

La edad media superior de los finalistas se presenta en los varones que compitieron en los Campeonatos del Mundo celebrados en Atenas-1997, y en las mujeres, las participantes en los Campeonatos del Mundo de Edmonton-2001. El promedio de menor edad (media), tanto en los medallistas como los ocho y los doce finalistas, correspondió a los varones que participaron en los primeros Campeonatos del

Mundo al aire Libre celebrado en la capital finlandesa en 1983, mientras que las mujeres lo hicieron en los organizados en Tokio en 1991.

### Edad de los participantes en los Campeonatos de Europa

El Campeonato de Europa al Aire Libre es la competición continental más antigua de la historia del atletismo. Todos estos años de competición al máximo nivel en el continente europeo le da un significativo valor a la hora de poder caracterizar a los especialistas de las distintas modalidades atléticas. A pesar del incremento que sufren algunos países europeos en la nacionalización de atletas, en las dos últimas décadas, suponen un fiel reflejo de un entorno geográfico al que pertenece nuestra muestra.

La tendencia que se observa entre los participantes de los Campeonatos Europeos de los últimos años no es muy diferente a la que pudimos ver en los Juegos Olímpicos y Campeonatos del Mundo. Se puede afirmar que el saltador/a europeo se ajusta perfectamente al perfil de edad que muestra el resto de saltadores/as, excepto en el sentido que, habitualmente, suelen tener una vida deportiva más larga y que suelen permanecer durante más tiempo entre la élite mundial de su especialidad. En la siguiente tabla se reflejan los datos de la media de edad de los tres primeros clasificados de los Campeonatos de Europa celebrados en los últimos 24 años:

	Hombres							
EDAD	Praga 1978	Atenas 1982	Stuttgart 1986	Split 1990	Helsinki 1994	Budapest 1998	Munich 2002	
Media-3 primeros	21.0 ± 3.4	23.0 ± 2.0	25.0 ± 3.4	21.3 ± 2.08	23.6 ± 2.30	28.3 ± 4.04	24.7 ± 2.63	
			Mı	ijeres				
EDAD	Praga 1978	Atenas 1982	Stuttgart 1986	Split 1990	Helsinki 1994	Budapest 1998	Munich 2002	
Media-3	23.6	26.3	19.6	25.0	26.0	27.7	24.3	
primeros	± 3.2	± 2.51	± 1.15	± 4.5	± 1	± 2.3	± 3.18	

Tabla 6. Edad de los participantes en Campeonatos de Europa al aire libre.

De estos datos se desprende que los medallistas varones son especialmente jóvenes en los Campeonatos celebrados en las ciudades Praga - 1978 (21.0 años) y en Split -1990 (21.3 años), mientras que los medallistas de más edad fueron los participantes en el Campeonato de Budapest -1998 (28.3 años); con respecto a las féminas, las medallistas más jóvenes participaron en Sttutgart -1986 (19.6 años) y las más veteranas lo hicieron en Budapest -1998 (27.7 años).

## Edad de los saltadores/as que batieron el record del mundo

En este tipo de estudio es necesario tener en cuenta la variante técnica utilizada por el deportista, aunque hoy en día todos ellos utilizan el *fosbury-flop*, estilo que no aparece en la escena internacional hasta los Juegos Olímpicos de México – 1968. Véase en las siguientes tablas la edad en los hombres y las mujeres:

Edad del Saltador al batir el Record del Mundo (2. 17 m 2. 45 m.)						
Atleta	Fecha Nacimiento	Fecha Marca	Edad Decimal	Marca (metros)		
John Thomas	03.03.41	30.04.60	19.085	2.17		
John Thomas	03.03.41	21.05.60	19.217	2.17		
John Thomas	03.03.41	24.06,60	19.310	2.18		
John Thomas	03.03.41	01.07.60	19.329	2.22		
Valeri Brummel	14.04.42	18.06.61	19.096	2.23		
Valeri Brummel	14.04.42	16.07.61	19.255	2.24		
Valeri Brummel	14.04.42	31.08.61	19.381	2.25		
Valeri Brummel	14.04.42	22.07.62	20.271	2.26		
Valeri Brummel	14.04.42	29.09.62	20.460	2.27		
Valeri Brummel	14.04.42	21.07.63	21.269	2.28		
Pat Matzdorf	26.12.49	03.07.71	21.514	2.29		
Dwight Stones	06.12.53	11.07.73	19.591	2.30		
<b>Dwight Stones</b>	06.12.53	06.06.76	22.495	2.31		
<b>Dwight Stones</b>	06.12.53	04.08.76	22.657	2.32		
Vladimir Jashtshenko	12.01.59	02.07.77	18.469	2.33		
Vladimir Jashtshenko	12.01.59	16.06.78	19.425	2.34		
Jacek Wszola	30.12.56	25.05.80	23.393	2.35		
Dietmar Mögemburg	15.08.61	26.05.80	18.775	2.35		
Gerd Wessig	16.07.59	01.08.80	21.044	2.36		
Zhu Jinhua	29.05.63	11.06.83	20.036	2.37		
Zhu Jinhua	29.05.63	22.09.83	20.318	2.38		
Zhu Jinhua	29.05.63	10.06.84	21.033	2.39		
<b>Rudolf Povarnitsin</b>	13.01.62	11.05.85	23.323	2.40		
Igor Paklin	05.06.63	04.09.85	22.170	2.41		
Patrik Sjöeberg	05.01.65	30.06.87	22.485	2.42		
Javier Sotomayor	13.10.67	08.09.88	20.901	2.43		
Javier Sotomayor	13.10.67	29.07.89	21.789	2.44		
Javier Sotomayor	13.10.67	27.07.93	25.783	2.45		

Tabla 7. Edad al establecer el Récord del Mundo.

Edad de la Saltadora al batir el Record del Mundo (1. 92 m 2. 09 m.)						
Atleta	Fecha Nacimiento	Fecha Marca	Edad Decimal	Marca (metros)		
Ilona Majdan-Gusenbauer	16.09.47	03.09.71	23.961	1.92		
Ulrike Meyfarth	04.05.56	01.09.72	16.329	1.92		
Yordanka Blagoeva	19.01.47	24.09.72	25.681	1.94		
Rosemarie Witschas	04.04.52	25.08.74	22.392	1.94		
Rosemarie Witschas	04.04.52	08.09.74	22.430	1.95		
Rosemarie Witschas	04.04.52	08.05.76	24.337	1.96		
Rosemarie Ackermann	04.04.52	03.07.77	25.246	1.96		
Rosemarie Ackermann	04.04.52	14.08.77	25.361	1.97		
Rosemarie Ackermann	04.04.52	26.08.77	25.394	2.00		
Sara Simeoni	19.04.53	04.08.78	25.293	2.01		
Sara Simeoni	19.04.53	31.08.78	25.367	2.01		
Ulrike Meyfarth	04.05.56	08.09.82	26.348	2.02		
Ulrike Meyfarth	04.05.56	21.08.83	27.299	2.03		
Tamara Bykova	21.12.58	21.08.83	24.668	2.03		
Tamara Bykova	21.12.58	25.08.83	24.674	2.04		
Tamara Bykova	21.12.58	22.06.84	25.498	2.05		
Ludmilla Andonova	06.05.60	20.07.84	24.206	2.07		
Stefka Kostadinova	25.03.65	25.05.86	21.168	2.07		
Stefka Kostadinova	25.03.65	31.05.86	21.184	2.08		
Stefka Kostadinova	25.03.65	30.08.87	22.433	2.09		

Tabla 8. Edad de las mujeres al establecer el Récord del Mundo

Un prestigioso entrenador de salto de altura <sup>12</sup> señala que el promedio de edad del saltador de altura que bate el récord del mundo es de 20.2 años y 23.6 años, hombres y mujeres, respectivamente. Hay que resaltar que la saltadora más joven que igualó un récord del mundo al mismo tiempo que establecía un récord olímpico fue la alemana federal U. Meyfarth con 16 años, durante la celebración de los Juegos Olímpicos de Munich en 1972, logrando posteriormente superar, once años más tarde, en dos ocasiones, el récord del mundo de la especialidad.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> López, F., "Salto de altura", en VV.AA., Atletismo II, R.F.E.A. y C.O.E., Madrid, 1992, p. 99.

# Edad de los saltadores/as mejor clasificados en el ranking mundial

El uso de los ranking para evaluar la edad que tiene un saltador de nivel internacional nos permite abordar este problema desde una óptica diferente a la anterior porque, como ya señalamos, los resultados que se den no necesariamente deberán ser los mismos que los que se pudieran derivar desde el estudio de las grandes competiciones internacionales. Esto confirma la necesidad de organizar la etapa de grandes logros deportivos en tres apartados tal y como se referenció en la figura 1 de este capítulo.

Los resultados confirman que la situación de los/as mejores saltadores de altura no ha cambiado significativamente en la última década, pero también se observa una ligera tendencia a incrementarse la edad de ambos sexos. En la actualidad, a partir del ranking de las 24 mejores marcas mundiales de todos los tiempos, cerrado en diciembre del 2001, la edad promedio de los/as veinte mejores saltadores/as no ha cambiado de forma significativa, tal y como se desprende de la siguiente tabla:

	Atleta	Marca	Nacimiento	Fecha	<b>E. D.</b>
1	Javier Sotomayor	2.45	13.10.1967	27.07.1993	25.783
2	Patrik Sjöeberg	2.42	05.01.1965	30.06.1987	22.482
3	Carlo Thränhard	2.42i	05.07.1957	26.02.1988	30.692
4	Igor Paklin	2.41	15.06,1963	04.09.1985	22.222
5	Rudolf Povartnisin	2.40	13.06.1962	11.08.1985	23.161
6	Sorin Matei	2.40	06.07.1963	20.06.1990	26.953
7	Charles Austin	2.40	19.12.1967	07.08.1991	23.630
8	Vyacheslav Voronin	2.40	05.04.1974	05.08.2000	26.334
9	Hollis Conway	2.40i	08.01.1967	10.03,1991	24.167
10	Zhu Jinhua	2.39	29.05.1963	10.06.1984	21.033
11	Dietmar Mögemburg	2.39i	15.08.1961	24.02.1985	23.540
12	Ralf Sonn	2.39i	17.01.1967	01.03.1991	24.118
13	Gennadiy Avdeyenko	2.38	11.04.1963	06.09.1987	24.405
14	Sergey Malchenko	2.38	02.11.1963	04.09.1988	24.833
15	Dragutin Topic	2.38	12.03.1971	10.08.1993	22.413
16	Troy Kemp	2.38	18.03.1966	12.07.1995	29.318
17	Artur Partyka	2.38	25.07.1969	18.08.1996	27.065
18	Steve Smith	2.38i	29.03.1973	04.04.1994	21.017
19	Wol-Hendrik Beyer	2.38i	14.02.1972	18.03.1994	22.087
20	Valeriy Sereda	2.37	30.06.1959	02.09.1984	25.175
21	Tom McCants	2.37	27.11.1962	08.05.1988	25.441
22	Jerome Carter	2.37	25.03.1963	08.05.1988	25.121
23	Sergey Dymchenko	2.37	23.08.1967	16.09.1990	23.066
_24	Dalton Grant	2.37i	08.04.1966	13.03.1994	26.926

Marca Media:  $2.391 \pm 0.19$  metros (2.45 - 2.37); Edad Media Decimal:  $24.624 \pm 2.43$  años

Tabla 9. Clasificación de los veinticuatro mejores hombres.

La antigüedad de los récords evidencia un estancamiento en esta disciplina. Los resultados de los últimos años no han sido capaces de elevar el nivel de la prueba. Ninguno de los saltadores obtuvo su marca personal en el último lustro, teniendo que retrasarnos hasta 1996 para encontrar el registro más joven (Partyka, 2.38 metros). Esta circunstancia merecería una reflexión más profunda que nos permitiera descubrir las causas de esta situación, pero no son el objetivo de nuestro estudio. No obstante, no resulta dificil suponer cuáles pudieran ser alguna de las razones por las que esta prueba, al igual que otras modalidades atléticas, ha sufrido un estancamiento durante la última década.

	Atleta	Marca	Nacimiento	Fecha	E. D.			
1	Stefka Kostadinova	2.09	25.03.1965	30.08.1987	22.433			
2	Lyudmila Zecheva-Andanova	2.07	06.05.1960	20.07.1984	24.206			
3	Heike Redetzky-Henkel	2.07i	05.05.1964	08.02.1992	27.761			
4	Tamara Bykova	2.05	21.12.1958	22.06.1984	25.498			
5	Inga Butkus-Babakova	2.05	27.06.1967	15.09.1995	28.219			
6	Silvia Costa	2.04	04.05.1964	09.09.1989	25.351			
7	Hestrie Storbeck-Cloete	2.04	26.08.1978	04.08.1999	20.937			
8	Venelina Veneva	2.04	13.06.1974	02.06.2001	26.966			
9	Ulrike Meyfarth	2.03	04.05.1956	21.08.1983	27.299			
10	Louise Ritter	2.03	18.02.1958	08.07.1988	30.468			
11	Tatiana Motkova-Babachin	2.03	23.11.1968	30.05.1995	26.512			
12	Niki Bakogiani	2.03	09.06.1968	03.08.1996	28.150			
13	Susanne Beyer	2.02i	24.06.1961	08.03.1987	25.701			
14	Yelena Yelesina	2.02	05.04.1970	23.07.1990	20.216			
15	Monica Iagar-Dinescu	2.02	01.04.1973	06.06.1998	25.180			
16	Sara Simeoni	2.01	19.04.1953	04.08.1978	25.293			
17	Olga Turchak	2.01	05.03.1967	07.07.1986	29.216			
18	Desiree Du Plessis	2.01	20.05.1965	16.09.1986	21.326			
19	Heike Balk	2.01	19.08.1970	18.06.1989	18.827			
20	Alina Astafei	2.01	07.06.1969	03.03.1995	25.734			
21	Hanne Haugland	2.01	14.12.1967	13.08.1997	29.660			
22	Yelena Rodina-Gulyayeva	2.01	14.08.1967	23.05.1998	30.770			
23	Kajsa Bergqvist	2.01	12.10.1976	19.08.2000	23.849			
24_	Iohanet Quintero	2.01i	08.09.1972	05.03.1993	20.485			
	Marca Media: $2.03 \pm 0.02$ metros ( $2.09 - 2.01$ ); Edad Media Decimal: $25.419 \pm 3.36$ años							

Tabla 10. Clasificación de las veinticuatro mujeres.

En la categoría femenina también se observa, aunque de manera menos significativa, un envejecimiento de las mejores marcas de todos los tiempos ya que sólo seis de las veinticuatro marcas han sido obtenidas en los últimos cinco años. Esta circunstancia, además de afectar al ya comentado estancamiento de las marcas en las grandes competiciones, también influye en el promedio de los mejores saltadores mundiales de cada año (ranking mundial anual).

### Características cronológicas de los saltadores/as de la muestra nacional

Los varones nacionales estudiados tenían durante la celebración del Campeonato Nacional del año 1997 una edad superior en 2.225 años a la edad promedio que tenían cuando habían logrado su mejor marca personal anterior a ese momento, a pesar de que la mitad habían conseguido su mejor registro en esa temporada.

Explicación de la tabla siguiente: la segunda columna que hace referencia a la edad decimal se ha subdividido en otras dos, de las cuales, la primera representa la edad en el momento en que el sujeto logra su mejor marca personal antes de los campeonatos analizados, mientras que la segunda columna corresponde a la edad decimal que posee en el momento del campeonato; la última columna que aparece con el título año mejor marca, hace referencia a la fecha en que fue conseguido dicho registro personal.

Hombres							
Mejor Marca	Marca   Edad Decim		Atleta	Fecha Nacimiento	Año Mejor Marca		
2.34	24.756	30.836	Arturo Ortiz	18.09.1966	22.06.1991		
2.26	24.183	24.271	Ignacio Pérez	12.04.1973	18.06.1997		
2.30	26.046	31.090	Gustavo A. Bécker	17.06.1966	04.07.1992		
2.23i	18.506	20.903	Jordi Rofes	24.08.1976	26.02.1994		
2.16	23.202	23.375	Marc Pages	05.03.1974	18.05.1997		
2.15	19.367	19.437	Raul Lozano	25.02.1978	09.07.1997		
2.15	22.280	22.280	Alejandro Badolato	09.04.1975	20.07.1997		
2.14	18.912	20.947	Oscar González	08.08.1976	08.07.1995		
2.20	21.896	27.121	Carlos de la Peña	06.06.1970	30.04.1992		
2.11	18.406	18.448	Edorta Arambuzabala	07.02.1979	05.07.1997		
2.204	21.755	23.870					
$\pm 0.076$	± 2.814	± 4.479					

Tabla 11. Características de los participantes.

La edad promedio de los saltadores varones de nuestra muestra presenta un valor de 23.870 ± 4.479 años, lo que la asemeja de forma muy significativa a la edad de los mejores saltadores utilizados de referencia en el estudio (24.624 ± 2.43). El atleta nacional de menor edad fue Aramburuzabala con 18.392 años y los de mayor edad Bécker y Ortiz con 31.090 y 30.833 años respectivamente. Estos valores entran dentro de lo que suele ser normal en las competiciones de nivel internacional, por la que podemos pensar que nuestros saltadores ya debían estar, por razones de edad cronológica y deportiva, dentro de ese grupo de saltadores que participan en pruebas de máximo nivel (Campeonatos de Europa, Campeonatos del Mundo y Juegos Olímpicos). Incluso con opciones de poder ocupar un puesto relevante dentro de la misma. También el grupo femenino nacional presentó, durante los campeonatos, una edad media superior (2.324 años) a la edad que presentaban en el momento de realizar su mejor marca personal de todos los tiempos. En esta ocasión, sólo dos saltadoras lograron su mejor marca personal en esa temporada.

Mujeres							
Mejor Marca	ca Edad Decimal		Atleta	Fecha Nacimiento	Año Mejor Marca		
1.89i	21.800	24.233	Carlota Castrejana	25.04.1973	12.02.1995		
1.87	21.077	22.170	Marta Mendía	18.05.1975	15.06.1996		
1.84	20.091	28.063	Mª Mar Martinez	26.06.1969	29.07.1989		
1.77	23.293	23.313	Ainara Mondina	27.03.1974	12.07.1997		
1.75	17.364	19.545	Victoria Fernández	31.12.1977	14.05.1995		
1.76i	18.753	19.175	Cristina Teixeira	16.05.1978	16.02.1997		
1.73	17.852	18.919	Agustina Manresa	18.08.1978	26.06.1996		
1.801	20.033	22.202					
± 0.064	± 2.163	± 3.334					

Tabla 12. Características de los participantes.

En cualquier caso, la muestra femenina nacional es algo diferente desde el punto de vista cronológico a la de saltadoras internacionales estudiadas. Con una edad media de 22.202 ± 3.334 años, las aleja ligeramente de las saltadoras que habitualmente participan en los grandes eventos internacionales. La atleta más joven es A. M. a punto de cumplir 19 años, mientras que MMM era la atleta más veterana con 28.063 años de edad. Esto nos hace pensar que, de cumplirse la evolución lógica por un acreditado

entrenamiento, estas saltadoras, por edad, podrían aspirar en el futuro a ocupar un puesto en el concierto internacional de la disciplina.

IMPORTANCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y CONSTITUCIONALES EN LOS SALTADORES/AS DE ALTURA: PARÂMETROS QUE DETERMINAN EL RENDIMIENTO DE UN DEPORTISTA

Desde siempre se ha tenido la idea de que en muchas modalidades deportivas existe una relación de dependencia entre los parámetros antropométricos y el rendimiento deportivo. Existen multitud de estudios, a todos los niveles, que intentan dar una respuesta en este sentido y que, además, avalan las especulaciones de los aspectos que más directamente puedan afectar a cada deporte. De esta forma, a partir de esos valores, los técnicos podrían seleccionar mejor los talentos deportivos, minimizando los errores que se derivan por la falta de un conocimiento específico más profundo de los rasgos diferenciadores de cada disciplina. No obstante, somos conscientes de que esta tarea es compleja, ya que existen otros factores no antropométricos, que también afectan muy directamente al rendimiento. En cualquier caso, a pesar de los riesgos y limitaciones que conlleva posicionarse en esta cuestión, nosotros entendemos que las investigaciones en este campo deberían ser básicas en un proceso racional de selección de élites deportivas.

El rendimiento motor de una persona queda condicionado por un elevado número de variables que afectan directamente, aunque de forma desigual al resultado final. Broenkoff<sup>13</sup> estructura cada una de estas variables dentro de lo que denomina niveles referidos a la condición morfológica y funcional; condición física, condición motriz, condición perceptivo-motriz y condición psicológica, las cuales situadas a diferente nivel dentro de lo que actualmente se conoce como pirámide de rendimiento motor (ver figura 3).

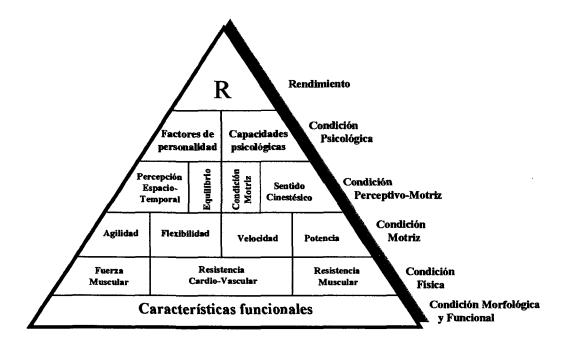


Fig. 3. Pirámide del rendimiento.

Calvert et alii<sup>14</sup> proponen un modelo sistémico que tratan de explicar la interacción de los diferentes aspectos que contribuyen a que un deportista logre alcanzar su máximo rendimiento (entrenamiento, capacidades físicas, rutina diaria, fatiga, psicología y factores emocionales), tal y como se puede apreciar en el diagrama siguiente:

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Citado por G<sup>a</sup>Manso, J.M., opus cit., 2002, p. 109.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Calvert, T.W., E. W. Banister, M.V. Savage, TMB. Bach, "A system model of the effects of training on physical performance", en *IEE Trans on systems, man and cybernetics*, vol. 6, núm. 2, 1976, pp. 94-102.

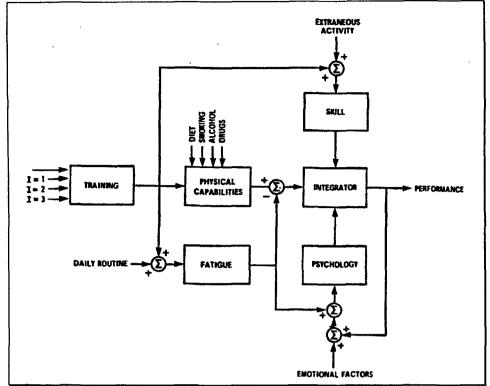


Fig. 4. Modelo de rendimiento deportivo.

En ocasiones, esta concepción multisistémica del rendimiento en edades tempranas ha sido cuantificada determinando el valor proporcional de cada uno de los aspectos que lo configuran. En este sentido, Gropler y Thiess<sup>15</sup> hacen la siguiente propuesta en la que, para poblaciones de 8 a 14 años de edad, tratan de valorar la importancia que cada aspecto tiene en el rendimiento final de un deportista:

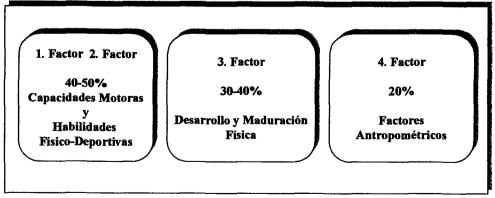


Fig. 5. Diversos aspectos para el rendimiento deportivo.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Groper, H. y G. Thies, "Der kennzeichnung der inneren struktur der koerperlichen leistungsfaehigkeiten von Zinder und jugendlichen der DDR", en *Theorie und Praxis der Koerperkultur*, vol. 25, núm. 7, 1976, p. 544.

Entre el variado número de factores que condicionan el rendimiento deportivo, Bouchard *et alli*<sup>16</sup> citan como más importantes las medidas morfológicas, las medidas orgánicas, las medidas motoras perceptivas, las medidas psicológicas y las medidas demográficas/situacionales.

Respecto al salto de altura, Zotko<sup>17</sup> plantea el valor de algunos parámetros funcionales respecto al rendimiento en el salto de altura, demostrando la importancia que éstos tienen en el resultado de esta modalidad atlética:

Estatura	Peso	I (T/P)	30 mt. Parado	
0.863	0.798	0.881	0.722	
Salto a Pies Juntos	Triple de Parado	Salto Longitud	CMJ + B	
0.753	0.760	0.698	0.802	

Tabla 13. Aspectos correlacionados con el salto de altura.

# Valoración de las características morfológicas y constitucionales de los deportistas

En los últimos cincuenta años se ha popularizado el uso de la Cineantropometría como método para evaluar la constitución y la morfología de los deportistas. Ross et alii<sup>18</sup> definieron la cineantropometría como la aplicación de la medida en el estudio de la forma, talla, composición corporal, proporción, maduración y estructura del cuerpo humano para comprender el crecimiento, el ejercicio, el rendimiento y la nutrición. Carter<sup>19</sup> recuerda que la determinación de datos antropométricos de los deportistas, en las diferentes modalidades deportivas, es un aspecto complementario e interesante de utilizar a la hora de evaluar a deportistas y, especialmente, en la búsqueda de futuras élites deportivas.

El estudio de las características morfológicas de los deportistas más destacados es algo que se viene realizando desde hace muchos años, destacando la evaluación que.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Bouchard, G., G. Brunelle y P. Godbout, La preparation d'un champion, Quebec, Pelican, 1973.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Zotko, R., art. cit., pp. 25-36.

<sup>18</sup> Cfr. Carter, J.E.L., *Physical Structure of Olympic Atlhetes*, Karger, Basel, 1984, p. 2. 19 *Ibidem*, p. 5.

sobre los participantes en Juegos Olímpicos, iniciaron Mully y Kohlrausch<sup>20</sup> con los participantes en los Juegos celebrados en Ámsterdam en 1928. En este sentido, cualquier enfoque que pueda aportar más conocimiento de esta variable constituye un avance con el fin de evitar una visión sesgada en las conclusiones que a este aspecto deportivo se le atribuyan.

#### METODOLOGÍA

Para abordar el estudio en el que tratamos de comprobar si nuestra muestra no presenta diferencias significativas respecto a la de referencia en lo que respecta a sus características morfo-funcionales, debemos comparar algunas variables antropométricas que sirvan de referencia entre ambas. Para ello, al igual que se hizo con las características cronológicas, el desarrollo de este trabajo también se centrará en la realización de una investigación documental exhaustiva, que se apoye en la información existente en la bibliografía especializada en temas de cineantropometría aplicada al deporte y en los manuales estadísticos anteriormente descritos. Esta base documental nos permite afrontar el estudio analizando algunos de los principales aspectos de la morfología de un deportista, que son universalmente aceptados como relevantes entre los practicantes de salto de altura. En este caso, el estudio se hará a partir del análisis de la estatura, la relación peso corporal / estatura y el somatotipo.

Uno de los aspectos más importantes que marcan la evolución de la constitución de los saltadores de altura es el estilo de salto utilizado. Hay que recordar que fue en la Olimpiada de México en 1968 donde apareció una nueva técnica, que en su momento revolucionó esta disciplina atlética conocida hoy día por *fosbury-flop*. Esta forma de interpretar el salto de altura buscaba potenciar la fuerza explosiva y evoluciona hasta nuestros días donde se pretende lograr una mayor reactividad y una mayor velocidad de entrada a la batida. En los últimos años es dificil encontrar saltadores/as que sigan empleando alguna de las técnicas que predominaron en el pasado, especialmente entre aquellos que se encuentran mejor situados en el ranking internacional, aunque pueda aparecer algún saltador que emplee otro tipo de técnica o variante de las ya conocidas.

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> *Ibídem*, p. 23.

Todos los técnicos especialistas suelen asociar a los practicantes de esta modalidad deportiva un perfil morfológico muy característico. Es obvia la hipótesis de partida que asume que un atleta longilíneo, de estatura elevada, con gran longitud en sus palancas podría verse favorecido en la elevación de su centro de masas a la hora de franquear el listón.

# Introducción a las características morfológicas y constitucionales de los deportistas

Existen numerosos estudios más o menos rigurosos que tratan de analizar y describir las características que un deportista necesita si quiere rendir en un deporte concreto. Estos resaltan la vinculación entre los valores antropométricos y el rendimiento deportivo e incluso, se atreven a pronosticar sobre la posible evolución de la especialidad en cuestión. Ello nos inclina a pensar que son convenientes las investigaciones que abordan este campo de estudio.

A pesar de lo comentado, no se puede ocultar que en muchas ocasiones hemos observado que entre los participantes e incluso finalistas de los grandes eventos deportivos no es extraño encontrar algún individuo que rompe los cánones clásicos. Estas individualidades, en el caso de los saltadores, que son capaces de llegar a la élite, además de convertirse en ejemplo para otros que no reúnen esas condiciones, a priori ideales, han cuestionado algunos programas de detección de talentos deportivos.

Conocemos sobrados ejemplos de deportistas que fueron descartados por no cumplir ciertos requisitos físico-técnicos y que luego contra todo pronóstico alcanzaron la élite deportiva. Estas excepciones no deben pasar desapercibidas a los técnicos ni a los expertos que abordan estudios sobre las características que deben primar en cada especialidad y mucho menos a los que las aplican.

# La estatura como uno de los parámetros más relevantes para lograr elevados rendimientos deportivos

Uno de los parámetros antropométricos más relevantes, especialmente en deportes cómo baloncesto, voleibol o atletismo, es la estatura que pueda alcanzar en el futuro un deportista. Por lo tanto contar con individuos de gran estatura, en una población cada

vez más alta, ha sido siempre uno de los objetivos prioritarios de estas modalidades deportivas. Asimismo, poder controlar cuestiones como la morfología (estatura futura de un sujeto) es uno de los aspectos más interesantes de los avances que en genética aplicada al deporte se están realizando con vistas a seleccionar un talento deportivo en muchas de estas especialidades deportivas.

Lógicamente la estatura media variará para cada modalidad deportiva, presentando una elevada variabilidad cuando la importancia de este parámetro antropométrico es mínima, pero siendo un valor bastante estable cuando la importancia para el resultado aumenta. Carter<sup>21</sup>, en una de sus obras clásicas sobre antropometría deportiva, hace una reflexión sobre la estatura media de los participantes masculinos en varias pruebas atléticas de diferentes Juegos Olímpicos (desde Roma hasta Montreal). En este tipo de poblaciones, el saltador de altura es, junto a los lanzadores de peso y disco, el atleta que posee una mayor estatura, frente a los lanzadores de jabalina y los corredores de fondo largo que, tradicionalmente, suelen ser los deportistas más bajos. Veamos en la siguiente figura de este autor la estatura de los diferentes participantes en las Olimpiadas según la especialidad practicada:

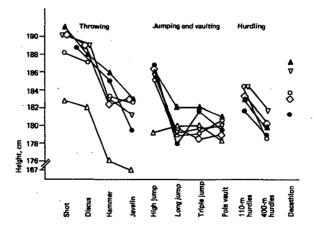


Fig. 6. Estatura en diferentes modalidades atléticas.

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Ibidem., p. 69.

#### Importancia de la estatura en la prueba masculina de salto de altura

Tal y como se puede comprobar en las tablas que se mostrarán más adelante, los saltadores de altura presentan una estatura significativamente superior a la de la población normal de su mismo rango de edad (percentil >99.0). Esto responde a las exigencias propias de la prueba. En el caso del salto de altura, el objetivo fundamental que busca un deportista es tratar de elevar su cuerpo por encima de un listón de fibra de vidrio con unas dimensiones de 3.92 - 4.04 metros, con un peso de 2.0 kg. y un diámetro de 29-31 mm., colocado sobre unos soportes de hierro que se encuentra situado a una altura claramente superior a la de la estatura del deportista. Lógicamente, cuanto menor sea esta diferencia, a priori, más fácil deberá ser poder elevar nuestro cuerpo por encima de este punto. Por el mismo motivo, cuanto mayor sea la diferencia entre la talla del sujeto y el listón superado, mayor será el nivel de ese deportista. Por esta razón muy frecuentemente se utiliza este criterio a la hora de evaluar el rendimiento de un deportista.

La ejecución de un análisis mecánico del salto de altura se debe realizar a partir de diferentes distancias que relacionan la altura a la que se encuentra el listón respecto al centro de gravedad y/o la estatura del sujeto. Todas ellas nos dan información sobre aspectos técnicos y condicionales del deportista en el momento de realizar el salto. En tal sentido, Hay<sup>22</sup> considera que el salto puede ser organizado a partir de cuatro distancias (que denominan H<sub>0</sub>, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> y H<sub>3</sub>).

La primera de estas alturas, (H<sub>0</sub>) representa la distancia que existe entre el centro de masas del sujeto y el suelo en el momento de iniciarse la batida. H<sub>1</sub> representa esa distancia más la trayectoria vertical que realiza el centro de masas al finalizar la batida. H<sub>2</sub> es la distancia que existe entre el punto anterior y el punto más alto que alcanza el centro de masas durante la fase de vuelo. Por último, H<sub>3</sub> representa la diferencia que existe entre la máxima altura que alcanza el centro de masas y el listón. En la siguiente gráfica<sup>23</sup> quedan reflejadas dichas alturas parciales:

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Hay, J. G., *The Biomechanics of sports techniques*, Prentice Hall, New Jersey, <sup>4</sup>1993, p. 441.

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Cfr. López, F., opus cit., p.7. Véase asimismo en, A.F. Müller, "Biomechanik des Hochsprungs", Sttutgart, p.54.

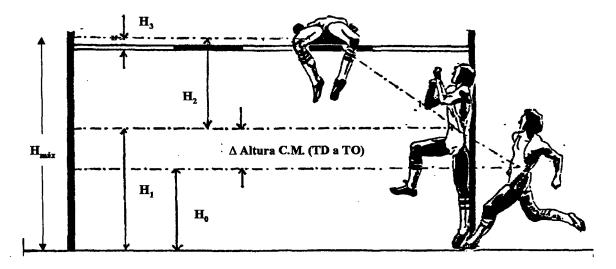


Fig. 7. Alturas parciales en las que se subdivide el salto de altura (modificado).

El valor de H<sub>0</sub> es un parámetro directamente relacionado por el dominio técnico que tenga el deportista en la fase de preparación de la batida. Las inclinaciones del cuerpo que el saltador sea capaz de alcanzar, en el plano frontal y sagital, en el instante en que el pie de batida llega al suelo, serán determinantes para este parámetro. Naturalmente, a estos aspectos mencionados debemos añadir aquellos que están vinculados con la altura del saltador. Independientemente de la posición que adopte el deportista en la batida, salvo excepciones, aquellos saltadores más altos colocarán su centro de gravedad a una distancia del suelo mayor que los saltadores más bajos.

El valor de H<sub>1</sub> (distancia del centro de masas al suelo en el instante del despegue) depende de la estatura, longitud de piernas, longitud de los pies y posición de segmentos libres (pierna libre y brazos), estos últimos muy directamente condicionados por la variante técnica que se utilice.

La variable que más interesa a los entrenadores, es, sin duda, aquella que pueda ser mejorada con el entrenamiento. Según Müller<sup>24</sup>, H<sub>2</sub> (altura de vuelo) está influida por el impulso vertical de la batida, que a su vez, depende de la masa del saltador y de la velocidad vertical en el momento del despegue.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Ibidem, p. 46.

Con respecto a la velocidad vertical, las investigaciones realizadas por este autor, demostraron que a incrementos de 0,1 m.s<sup>-1</sup> en la misma, le corresponden incrementos de hasta 4 centímetros en el valor de H<sub>2</sub>. Sin duda, el enfoque del entrenamiento no puede pasar por alto estos análisis biomecánicos.

Para superar el listón se requiere un buen dominio del cuerpo en el espacio durante la fase de vuelo, donde el atleta tendrá que colocar cada segmento de su cuerpo en la posición más favorable para sobrepasar el listón. Según Hay<sup>25</sup>, este factor depende de la posición del cuerpo en el punto alto de la parábola de vuelo y de los movimientos que se pueden realizar encima del listón. Para Dapena<sup>26</sup>, si un saltador requiere en el H<sub>3</sub> (altura del C.M. sobre el listón) más de 6 centímetros para pasar listón, sería señal inequívoca de una ineficaz técnica de franqueo. Por el contrario, sería aceptable si necesita de 3-6 centímetros, llegando a considerarse como muy buena si requiere menos de 2 cm.

La estatura muestra una ligera diferencia a favor de los saltadores de mayor proyección internacional. Mientras los diez mejores saltadores ( $2.409 \pm 0.017$  metros) tienen una estatura de 192.0 centímetros ( $\pm$  0.069), los saltadores situados entre el puesto 51° y 100° ( $2.32 \pm 0.01$  metros) presentan una estatura de 188.9 centímetros ( $\pm$  0.06). Si relacionamos estos datos con el diferencial (altura saltada menos la estatura) observamos que el valor de los 50 primeros del ranking mundial es exactamente igual al de los 50 siguientes ( $46 \pm 6$  centímetros vs.  $46 \pm 6$  centímetros). Sin embargo, los 10 mejores saltadores, además de poseer un mejor registro, también son capaces de lograr un diferencial ligeramente superior ( $48.9 \pm 6.4$  centímetros), como se ilustra en la siguiente tabla:

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Hay, J.G., opus cit., p. 443.

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Cfr. Brizuela, G. "Biomecánica del salto de altura", en, VV.AA., Análisis biomecánico de las técnicas deportivas, Ed. M.E.C. y C.S.D., Madrid, 1996, p. 108.

Del documento, los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2006

Atleta, Marca, Estatura y Diferencial Marca – Estatura (2.45 – 2-35)

Atleta	Marca	Estatura	Diferencial
Javier Sotomayor	2.45	1.95	50
Patrik Sjöeberg	2.42	2.00	42
Carlo Thränhard	2.42i	1.98	44
Igor Paklin	2.41	1.91	50
Rudolf Povartnisin	2.40	2.02	38
Sorin Matei	2.40	1.84	56
Charles Austin	2.40	1.84	56
Vyacheslav Voronin	2.40	1.90	50
Hollis Conway	2.40i	1.83	57
Zhu Jinhua	2.39	1.93	46
Dietmar Mögemburg	2.39i	2.01	38
Ralf Sonn	2.39i	1.97	42
Gennadiy Avdeyenko	2.38	2.02	36
Sergey Malchenko	2.38	1.90	48
Dragutin Topic	2.38	1.97	41
Troy Kemp	2.38	1.87	51
Artur Partyka	2.38	1.92	46
Steve Smith	2.38i	1.85	53
Wol-Hendrik Beyer	2.38i	2.00	38
Valeriy Sereda	2.37	1.86	51
Tom McCants	2.37	1.85	52
Jerome Carter	2.37	1.85	52 52
Sergey Dymchenko	2.37	2.02	35
Dalton Grant	2.37i	1.85	52
Gerd Wessig	2.36	2.01	35
Sergei Zasimovich	2.36	1.88	48
Hedi Annys	2.36	1.87	49
Jim Howard	2.36i	1.96	40
Jan Zvara	2.36i	1.90	47
Gerd Nagel	2.36i	1.88	48
Nick Saunders	2.36	1.88	48
Dough Nordquist	2.36	1.94	42
Georgi Dakov	2.36	1.95	41
Lambros Papakostas	2.36	1.93	43
Steinar Hoen	2.36i	1.93	43
Tim Forsyth	2.36	1.96	40
Sergei Klyugin	2.36	1.84	52
Konstantin Matusevich	2.36	2.02	34
Martin Buss	2.36	1.95	41
Vladimir Yaschenko	2.35i	1.93	42
Aleksandre Kotovich	2.35i	1.80	55
Brent Harken	2.35i	1.92	43
Darrin Plab	2.35	1.99	36
Jean-Charles Gicquel	2.35i	2.00	35
Mark Boswell	2.35	1.87	48
Nathan Leeper	2.35		
Charles Clinger	2.35	1.97	38

Tabla 14. Clasificación de los 50 mejores hombres.

### Diferencial entre la estatura del saltador y la altura del listón

Vemos como saltadores de altura que son capaces de superar listones que se encuentran a 50 centímetros o más elevados que su cabeza (Conway, Sereda, Kemp, Sepaniak, Elliot, McCants, Jacobs, Matei, Austin, Grant, Holm, etc.) frecuentemente son deportistas que poseen una estatura relativamente baja, aunque, por otro lado, ven mermadas sus posibilidades de éxito ante deportistas con menor capacidad de elevación pero que parten de estaturas mucho más favorables (Moegemburg, Povarnitsin, Avdeyenko, Sjoeberg, Dymchenko, Wessig, Beyer, etc.). Lo ideal sería buscar deportistas altos y que, a la vez, estuvieran dotados de una gran capacidad de elevación (Sotomayor, Paklin o Voronin). Es necesario resaltar que entre los diez mejores saltadores encontramos tres de ellos con una estatura significativamente inferior a la media (Matei: 1.84. centímetros; Conway: 1.83 centímetros; Austin: 1.84 centímetros), pero con un diferencial superior a 56 centímetros, lo que supone un valor excelente entre los saltadores masculinos de altura. En el extremo contrario, encontramos cuatro saltadores con una estatura superior a 198.0 centímetros y con un diferencial claramente inferior a la de los anteriores atletas (41 ± 0.03 centímetros).

Ran	Ranking Mundial de Todos los Tiempos - Hombres							
Rango	Diferencial	Marca	Estatura	Peso	Peso/Estatura			
1°-10°	0.49	2.41	192.0	74.90	389.90			
Media SD	± 0.07	± 0.02	± 0.07	± 6.06	± 26.10			
11°-50°	0.43	2.36	192.5	77.02	400.00			
Media SD	± 0.06	± 0.01	± 0.06	± 5.45	± 22.09			
51°-100°	0.43	2.32	188.9	75.54	399.92			
Media SD	± 0.06	± 0.01	± 0.06	± 5.59	± 25.07			

Tabla 15. Ranking mundial.

Por el contrario, y según observamos en el gráfico siguiente, el 56.08% de los saltadores se encuentran en la horquilla de 186.0-195.0 centímetros de estatura, lo que supondría un valor de normalidad de este parámetro entre los practicantes de esta modalidad atlética que quieran estar entre el grupo de saltadores de máximo nivel internacional. Sin embargo, esto no significaría un criterio de idoneidad o valor de referencia ideal, ya que sólo el 23.37% de los saltadores supera el 1.96 metros de

estatura para un diferencial bastante bajo (37.0 ± 4 centímetros). Como podemos ver, existe la tendencia a que el valor del diferencial marca-estatura se comporte de manera inversa a la estatura del deportista. Es decir, cuanto más bajo es el deportista, habitualmente, el diferencial es más elevado que cuando el saltador es más alto. Si lográramos saltadores con una elevada estatura (>190.0 centímetros) con un diferencial grande (>50 centímetros), estaríamos ante el prototipo ideal de saltador.

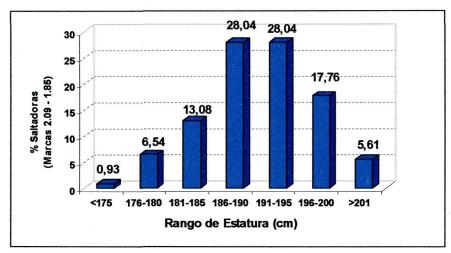


Fig. 8. Distribución del número de saltadores por rango de estatura.

Lógicamente, para aumentar esta variable, tendremos que incidir sobre aspectos técnicos y condicionales del saltador, en definitiva, sobre el tipo de entrenamiento a desarrollar. Tal afirmación se cumple entre los cuatro saltadores más altos de entre los diez primeros del ranking mundial de todos los tiempos.

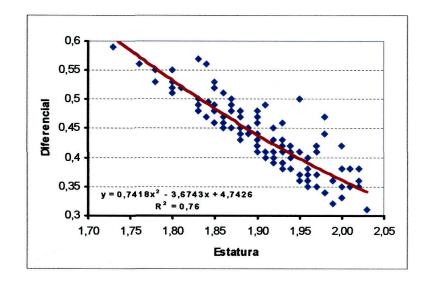


Fig. 9. Relación entre la estatura y el diferencial marca-estatura (Hombres).

De esta forma, saltadores con estaturas entre 196.0 y 200.0 centímetros que pudieran lograr diferenciales superiores a 0.48 metros, que es el valor medio de los diez mejores saltadores, estarían igualando y/o superando el actual récord del mundo.

Diferencia mínima deseable (centímetros), entre la estatura y la altura del listón, en deportistas masculinos que deseen estar compitiendo a nivel internacional				
< 1. 75 cm.	> 58 cm.			
1.76 – 1.80 cm.	53 – 58 cm.			
1.81 – 1.85 cm.	48 – 52 cm.			
1.86 – 1.90 cm.	43 - 47 cm.			
1.91 – 1.95 cm.	40 – 42 cm.			
1.96 – 2.00 cm.	36 – 39 cm.			
> 2.00 cm.	34 – 35 cm.			

Tabla 16. Relación entre el diferencial y la talla del atleta.

#### Importancia de la estatura en la prueba femenina de salto de altura

En las mujeres también comprobamos que la estatura media supera holgadamente el percentil 99.0 correspondiente a la población general del mismo rango de edad. A diferencia de lo que podíamos ver en el sexo masculino, entre las mujeres es bastante dificil encontrar saltadoras con una talla superior a los 1.90 metros.

Atleta	Marca	Estatura	Diferencial
Stefka Kostadinova	2.09	1.80	29
Lyudmila Zecheva-Andanova	2.07	1.77	30
Heike Redetzky-Henkel	2.07i	1.81	26
Tamara Bykova	2.05	1.79	26
Inga Butkus-Babakova	2.05	1.80	25
Silvia Costa	2.04	1.79	25
Alina Astafei	2.04i	1.81	23
Hestrie Storbeck-Cloete	2.04	1.85	19
Venelina Veneva	2.04	1.77	27
Ulrike Meyfarth	2.03	1.88	15
Louise Ritter	2.03	1.78	25
Tatiana Motkova-Babachin	2.03	1.75	28
Niki Bakogiani	2.03	1.70	33
Susanne Helm-Beyer	2.02i	1.77	25
Yelena Yelesina	2.02	1.84	18
Monica Iagar-Dinescu	2.02	1.86	16
Sara Simeón	2.01	1.78	23
Olga Turchak	2.01	1.90	11
Desiree Du Plessis	2.01	1.84	17
Heike Balk	2.01	1.78	13
Hanne Haugland	2.01	1.83	18
Yelena Rodino-Gulyayeva	2.01	1.81	20
Kajsa Bergqvist	2.01	1.75	26
Ioamnet Quintero	2.01i	1.89	12
Gabrielle Niebling-Gunz	2.01i	1.82	19
Tisha Waller	2.01i	1.83	18
Rosemarie Witschas-Ackermann	2.00	1.75	25
Coleen Rienstra-Sommer	2.00i	1.78	22
Charmaine Gale-Weavers	2.00	1.78	22
Emilia Petnakova-Dragieva	2.00i	1.70	30
Lyudmila Petrus-Avdeyenko	2.00	1.80	20
Svetlana Isaeva-Leseva	2.00	1.76	24
Larisa Kositsyna	2.00i	1.82	18
Jan Chresbo-Wohlschalag	2.00	1.86	14
Yolanda Henry	2.00	1.68	32
Biljana Petrovic	2.00	1.76	24
Tatiana Shevchk	2.00i	1.78	22
Britta Vöros-Bilac	2.00i	1.81	19
Amy Acuff	2.00	1.88	12
Dóra Györffy	2.00	1.75	25
Zuzana Kovacikova-Hlavonová	2.00	1.78	22

Tabla 17. Cuarenta y dos mujeres que superaron la barrera de los 2 metros.

La relación que existe entre la estatura y el resultado en las mujeres fue estudiada por Ivancevic<sup>27</sup>. El autor comparó las características antropométricas y los tests motores de fuerza explosiva de diferentes mujeres que realizan modalidades atléticas de saltos, lanzamientos y velocidad; comprobando el hecho de que las

características antromopétricas son relevantes para los resultados que pudieran presentar en los tests motores. También señala que existe una relación del rendimiento con las dimensiones longitudinales, el volumen y las dimensiones transversales de sus ejecutantes. Concluye este autor que las características antropométricas pueden ser variables predictivas y supresoras (limitantes) de las distintas manifestaciones de las habilidades motoras, en las que participa de forma predominante, como ocurre en los saltos, la fuerza explosiva. Atendiendo al salto de altura, las variables que más intensamente influye en el resultado, son las variables antropométricas vinculadas a longitudes corporales (especialmente estatura y longitud del miembro inferior). Aunque no desprecia la dimensión transversal de los parámetros antropométricos, con los que también encuentra una correlación estadísticamente significativa.

En la actualidad no parece existir una clara diferencia entre los diferentes niveles de saltadoras de categoría internacional. La estatura de las diez mejores saltadoras del ranking mundial de todos los tiempos ( $180.70 \pm 3.4$  centímetros) sólo supera en un centímetro a la media de las 50 primeras y las 50 siguientes ( $179.04 \pm 0.05$  vs.  $179.00 \pm 0.05$  cm.), con lo cual no es estadísticamente significativo, como se puede observar en la siguiente tabla.

Mujeres						
Rango	Diferencial	Marca	Estatura	Peso	Peso/Estatura	
1°-10°	0.25	2.05	180.70	62.10	343.4	
Media y SD	± 0.05	± 0.02	± 0.03	± 4.53	± 19.0	
11°-50°	0.20	1.99	179.04	61.10	340.55	
Media y SD	± 0.05	± 0.02	± 0.05	± 5.11	± 24.39	
51°-100°	0.16	1.95	179.00	61.46	341.9	
Media y SD	± 0.05	± 0.01	± 0.05	± 4.55	± 21.87	

Tabla 18. Clasificación de las 100 mejores mujeres.

Como se observa en el gráfico posterior en las mujeres también se cumple lo que ya expresamos sobre los saltadores masculinos al relacionar la estatura de las saltadoras

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> Ivancevic, K., "The relation between morphologycal characteristics and the explosive strength in women", *Kinesiologija*, Zagreb, vol. 20, núm. 1, 1988, pp. 17-24.

con la altura saltada. Una vez más, el diferencial tiene un comportamiento inversamente proporcional a la estatura de los sujetos.

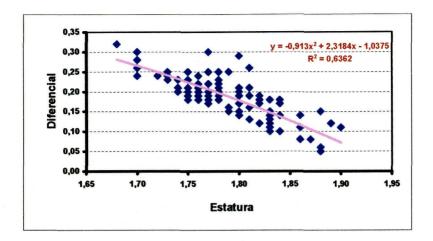


Fig. 10. Relación entre la estatura y el diferencial Marca – Estatura (Mujeres).

Por lo tanto, podemos reiterar el argumento según el cual a una saltadora le bastaría tener una estatura de 180 centímetros y ser capaz de elevarse por encima de su cabeza a una altura superior, que por término medio alcanzan las diez mejores de la modalidad (24.5 centímetros), para estar en condiciones de situarse en los puestos de privilegio del ranking mundial. A nuestro entender, esto es bastante viable en la categoría femenina, ya que este criterio se cumple con bastante rigurosidad en los resultados que hasta el momento de realizar esta investigación se conocen sobre esta disciplina deportiva.

Diferencia mínima deseable (centímetros), entre la estatura y la altura del listón, en deportistas femeninos que deseen estar compitiendo a nivel internacional					
< 1.66 > 30 cm.					
1.66 - 1. 70 cm.	27 – 30 cm.				
1.71 – 1.75 cm.	22 – 26 cm.				
1.76 – 1.80 cm.	18 – 21 cm.				
1.81 – 1.85 cm.	13 – 17 cm.				
1.86 – 1.90 cm.	7 – 12 cm.				
> 1.90 cm.	< 7 cm.				

Tabla 19. Relación entre el diferencial y la talla.

Ahora bien, si los responsables técnicos de esta modalidad quieren plantearse que las marcas evolucionen en el futuro (téngase en cuenta que el récord femenino actual data del año 1987 y que ocho de los diez mejores registros son anteriores a 1992), y sabiendo que saltadoras de menor estatura han sido capaces de sobrepasar los 30 centímetros, lo ideal sería encontrar atletas con una estatura entre los 185.0-190.0 centímetros y con la capacidad de superar los 25.0 – 30.0 centímetros, lo que supondría alcanzar registros superiores a los 2.10 metros.

Hay que destacar que la diferencia en centímetros de las marcas de las diez primeras atletas analizadas [llamémosle nivel I, las 40 siguientes (nivel II) y las 50 últimas (nivel III) del ranking de las cien mejores] se comportan exactamente igual que en el caso de los varones. Es decir, hay una media de 5 - 6 centímetros más en la marca de las saltadoras del nivel I sobre la media del nivel II y 9 - 10 centímetros sobre la media del nivel III (2.05 centímetros ± 0.02 vs. 1.99 centímetros ± 0.02 vs.1.95 centímetros ± 0.01). Sin embargo, no existe tal similitud al hablar del diferencial (estatura-resultado) entre los niveles II y III de los varones que es el mismo pero en la mujer aparece una diferencia de 4 cm.

En el caso de las mujeres, se deja ver más desigualdad en el mismo a favor de las diez primeras (0.245 centímetros  $\pm$  0.045 vs. 0.20 centímetros  $\pm$  0.05 vs. 0.16 centímetros  $\pm$  0.05). Con estos argumentos, podemos manifestar que, en esta categoría, el resultado más favorable lo obtienen las saltadoras con mejor diferencial, ya que hemos visto que la estatura es prácticamente igual entre todas las saltadoras (especialmente en los niveles II y III de rendimiento).

La importancia que tiene la estatura puede ser determinante para situarse entre las mejores, pero otras variables, posiblemente vinculadas con el entrenamiento, tendrían un mayor peso específico en el resultado final y/o puesto ocupado por la saltadora en el ranking mundial.

La figura 11 nos proporciona los porcentajes de las saltadoras según la estatura que presenten. La mayor parte de saltadoras (77%) se encuentra claramente en la horquilla de 1.75-1.84 metros de estatura. Esto podría considerarse un valor de

normalidad para aquellas practicantes de esta modalidad que aspiren a estar entre el grupo de deportistas de nivel internacional. No obstante, es significativo que el 42% de las saltadoras pertenezcan a la horquilla de 1.75-1.79, lo que demuestra que no son excesivamente altas para ser practicantes de una modalidad donde el objetivo es superar un listón situado lo más alto posible. Sólo un 1% de estas deportistas tienen una estatura inferior a los 169.0 centímetros, mientras que en el extremo opuesto, sólo un 1% de las saltadoras supera los 190.0 centímetros.

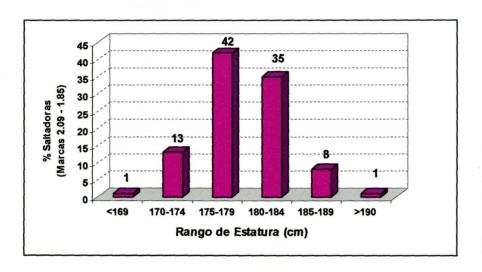


Fig. 11. Distribución del porcentaje de saltadores por rango de estatura.

### Estatura de los saltadores masculinos utilizados en la muestra nacional

Desde el punto de vista estadístico, la estatura promedio de los españoles ha sido inferior que el promedio de ciudadanos europeos de la posguerra (1.69 metros entre los varones y 1.58 metros entre las mujeres). Desde hace años, la media de los varones españoles (1.76) coincide con la europea (1.75). Sin embargo, la media de las españolas es inferior en 2.5 cm menos (1.64 metros). Actualmente, la población entre 18-29 años alcanza 1.77 metros en los varones y 1.64 metros en las féminas. Incluso, alrededor de un 40 % de la población masculina alcanza 1.80 metros o más y un 3.5 % del sexo femenino mide más de 1.79 metros<sup>28</sup>.

En nuestro estudio sólo dos saltadores masculinos tienen una estatura inferior a los 190.0 centímetros y sólo una saltadora está por debajo de los 175.0 centímetros. Tal circunstancia hace que nuestros saltadores tengan una estatura media muy similar a la de los diez mejores saltadores del ranking mundial de todos los tiempos y en el caso de las mujeres se sitúen a tres centímetros por debajo del promedio de las diez mejores de siempre, reduciéndose la diferencia a tan sólo 1.5 centímetros, si la comparamos con las 50 o 100 mejores clasificadas de dicho ranking.

Atleta	Estatura (metros)	Atleta	Estatura (metros)
A. Ortiz	1.90	M. Mendia	1.75
I. Pérez	1.95	C. Castrejana	1.88
G. Bécker	1.84	MM. Martinez	1.79
A. Badolato	1.92	A. mondita	1.79
M. Pagés	1.90	I. Teixeira	1.76
C. Peña	1.95	V. Fernández	1.71
J. Rofes	1.93	A. Manresa	1.75
R. Lozano	1.88	Media (DT)	1.776 (± 0. 053)
O González	1.93		
E. Aramburuzabala	1.95		
Media (DT)	1. 915 (± 0. 036)		

Tabla 20. Estatura de los atletas españoles.

Sin embargo, estos promedios son claramente diferentes siete años atrás (1991). Véase en el cuadro siguiente (ranking cerrado a 31 de diciembre del 1991), los diez mejores saltadores mundiales y españoles de todos los tiempos<sup>29</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> Muñoz, I.," Así somos así nos vemos", *La Revista*, dominical del periódico El Mundo, *Madrid, núm.* 200, 15 de agosto de 1999.

Prom	edio	Marca	Talla	Peso	Coeficiente	Diferencial	Edad
		(m)	(m)	(kg)	P/E	M-E (cm)	(años)
	Mundo	2.40	1.93	75	380	47	24
Hombres	España	2.23	1.87	72	380	35	23
	Mundo	2.04	1.80	60	330	22	25
Mujeres	España	1.82	1.72	55	310	10	22

Tabla 21. Los diez mejores de todos los tiempos.

Hay que destacar que los españoles hasta el año 1991 tienen una diferencia de estatura ostensiblemente menor que sus coetáneos internacionales, y por supuesto, que los integrantes de este estudio, tanto en el caso de los hombres como en las mujeres. Tal es así, que las mejores mujeres españolas saltaban un 52% menos que las mejores del mundo y los varones, un 25% menos. No obstante, los registros en cuanto a nivel de marcas son significativamente inferiores en ambas muestras nacionales masculinas (2.40 metros vs. 2.16 y 2.23 metros) y así mismo, el diferencial (la altura saltada por encima de la estatura de cada sujeto) también es netamente interior. (47 vs. 35 y 25.2).

A nivel internacional hay que reseñar que en los Juegos Olímpicos de Moscú - 1980 el promedio se estableciera en treinta y seis centímetros, que es muy próximo al promedio de hombres españoles (ver tabla 20); en los Juegos Olímpicos de Seúl -1988 o en los Campeonatos del Mundo de Roma-1987 se superaron los cuarenta centímetros; y en Barcelona -1992, se alcanzaron los cuarenta y cinco centímetros de promedio.

No obstante, dos de los atletas que componen nuestra muestra en algún momento de sus carreras deportivas se aproximaron a esas cotas internacionales (AO. y GB. ambos con cuarenta y seis cm.). En la competición analizada, los registros de éstos dos atletas aunque lejos de sus mejores marcas, fueron los autores de que el promedio de la muestra no fuera aún peor (17.3 cm. ± 5.9).

En relación a las mujeres, la situación es muy similar a la de los varones. El ranking cerrado en el año 1991 refleja que las saltadoras extranjeras saltaban veintidós cm. más (2.04 m. vs. 1.82 m.) y con un diferencial superior a doce cm. Sin duda se

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> Cfr. López, F. et alii, opus cit., p. 99.

podría achacar a la diferencia apreciada en la estatura, ocho centímetros por debajo de la media internacional.

Pero curiosamente, seis años más tarde, en la muestra de nuestro estudio (1997) empeora esta situación. En las mujeres, se pone de manifiesto con la media  $(1.74 \pm 0.06)$  y, en especial, con el diferencial (1.53 cm.) que es extremadamente bajo. Sin embargo, dado que los parámetros morfológicos como el peso y la estatura casi se igualan no podemos achacarlo a este aspecto. Afortunadamente parece que hay algún rasgo incipiente de mejora con algunas especialistas que ya sobrepasan de manera habitual el 1.90 metros. Véase a continuación el ranking de los mejores saltadores de todos los tiempos cerrado el 31 de diciembre del 2001. Ante el ligero aumento del nivel con respecto al año 1991 que se percibe, sin embargo, no debemos soslayar la antigüedad de algunos registros que se presentan de forma más acusada en las mujeres:

Mejores Saltadores Españoles de Todos los Tiempos						
Atleta	Estatura (m)	Peso (kg)	P/E	Marca (m)	Año	Diferencial (cm)
A. Ortiz	1,90	73	384	2,34	1991	44
I. Pérez	1,95	81	415	2,30	1999	35
G. Bécker	1,84	71	385	2,30	1992	46
J. Rofes	1,93	80	414	2,23	1994	30
R. Lozano	1.88	65	345	2.22	1999	34
R. Cabrejas	1.81	67	370	2.26	1983	45
D. Antona	1.90	73	384	2.25	2001	35
MA. Moral	1.99	85	427	2.24	1982	25
J. Villalobos	1.80	73	384	2.24	1999	44
J. Bermejo	1.88	70	372	2.24	2000	36
FM. Morillas	1.82	76	417	2.22	1976	40
Media	1. 891	74. 00	391. 0	2. 258		38
DT	0.05	6.07	24.8	0.04		6.8

Mejores Saltadoras Españolas de Todos los Tiempos						
Atleta	Estatura (m)	Peso (kg)	P/E	Marca (m)	Año	Diferencial (cm)
M. Mendía	1.75	59	337	1.93	96	18
C. Castrejana	1.88	67	356	1.89	95	1
MM. Martinez	1.79	58	324	1.88	91	9
I. Mozún	1.70	55	323	1.86	84	16
C. Mateos	1.70	55	323	1.86	86	16
A. Morte	1.80	58	322	1.86	86	6
R. Beitia	1.78	56	314	1.89	98	11
A. Azkona	1.78	59	331	1.85	00	7
B. Saenz	1.74	57	327	1.82	92	8
J. Lobato	1.71	55	321	1.82	94	11
I. Clopes	1.70	60	352	1.82	96	12
Media	1,757	58.09	330. 4	1. 862		10.4
DT	0.06	3.45	13.29	0.03		5.0

Tabla 22. Mejores saltadores españoles de todos los tiempos.

Si la reflexión la trasladamos a los mejores saltadores españoles de todos los tiempos, vemos que apenas hay modificación, no encontrándose diferencias estadísticas en los hombres y sólo una leve tendencia de variación (p<0.09) en el caso de las mujeres.

Muestra	Marca	Talla	Diferencial
11 Primeros	2.407	1.928	48
Hombres/Mundo	± 0.02	± 0.07	10
11 Primeros	2.258	1.891	37
Hombres/España	± 0.04	± 0.05	,
11 Primeros	2.050	1.805	24
Mujeres/Mundo	± 0.02	± 0.03	2.
11 Primeros	1.862	1.757	10
Mujeres/España	± 0.03	± 0.06	10

Tabla 23. Cerrado a 31 de diciembre del 2001.

Por el contrario, en nuestro estudio sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de rendimiento (Hombres: p<0.000; Mujeres: p<0.000)

entre la muestra nacional e internacional, igual que ocurre con los valores que corresponden a los diferenciales existentes entre la marca y la estatura de los dos sexos (Hombres: p<0.003; Mujeres: p<0.000). Esto nos permite asegurar que en nuestros saltadores/as la causa de un menor rendimiento no debe buscarse en el perfil morfológico de saltador, sino en su formación como deportista.

### Importancia de los índices corporales en el salto de altura: Índice de longitud del miembro inferior

Aunque no se incluye ninguno de estos valores en nuestro estudio, entendemos que los índices constituyen una de las propuestas más simples para la valoración de la composición corporal. Estos índices deben ser seleccionados con criterios de aplicabilidad específica para cada modalidad deportiva. En ocasiones, un índice de poco uso global puede tener una elevada utilidad para una modalidad deportiva concreta. Así, la longitud del miembro inferior presenta valores diferentes según la modalidad deportiva [Índice de longitud del miembro inferior = (100 x LMI desde trocánter mayor al suelo / talla)].

Los luchadores suelen presentar valores bajos respecto a los que se observan entre la población sedentaria; este parámetro varía en función de la categoría de peso, de tal forma que, los luchadores de menor categoría de peso suelen tener unas piernas cortas; en los de pesos intermedios la longitud se acerca a la normalidad y los de mayor peso suelen mostrar piernas más largas que la media de los sujetos que no realizan actividad física. Estos valores los reflejamos a continuación:

Tipo	Valor
Miembro inferior corto	<50.4 %
Miembro inferior medio	50.5% - 52.9 %
Miembro inferior largo	>53.0 %

Tabla. -24. Categorización del miembro inferior.

En las modalidades atléticas de salto, especialmente entre los saltadores de altura, su importancia aumenta significativamente. Jolodovskaya<sup>30</sup> le da un valor de 51.5% entre los saltadores, por un 49% entre los velocistas. Zotko<sup>31</sup>, por su parte, plantea valorar en los saltadores la longitud del miembro inferior relacionándolo con la altura del busto (longitud del miembro inferior / longitud del busto = 1.12 a 1.14), ya que entiende que es un valor más interesante al determinar menor robustez, por lo tanto menor peso corporal, incluso cuando la estatura es elevada.

### Importancia del peso corporal y del índice peso / talla en el salto de altura de altura

El peso del deportista es un factor que tiene un significado positivo o negativo en función de la modalidad deportiva que realice el sujeto. Es universalmente aceptado que el aumento excesivo de peso corporal a partir del componente graso, reduce la eficiencia en la mayoría de los deportes, especialmente cuando la modalidad se sustenta en la resistencia, la velocidad, y las cualidades coordinativas.

El crecimiento, la nutrición y el entrenamiento son los tres aspectos que más directamente influyen sobre el peso corporal de un deportista y de la proporción de sus componentes (graso, óseo, residual y muscular). Así, durante los años de la vida de un individuo que pasa de niño a adulto, se producen diferentes ritmos de evolución del peso muscular y de la masa muscular activa. Este último parámetro crece en longitud de forma paralela a la estructura ósea correspondiente. Mientras que su grosor, fruto de la formación de nuevos filamentos de actina y miosina acompañado de un aumento del retículo sarcoplasmático, responde a factores como la respuesta hormonal, el potencial genético y la actividad muscular.

La importancia de este factor en el sujeto adulto deportista es tan elevada que puede condicionar intensamente el rendimiento final en una modalidad deportiva. Esto obliga a tratar el peso corporal desde perspectivas diferentes. Es habitual emplear conceptos como los de peso ideal, peso mínimo y peso adecuado. De todos ellos, el concepto de peso adecuado parece ser un término que se ajusta perfectamente al análisis

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> Citado por Tumanian, G.S., Lucha deportiva: Selección y Planificación, [Tesis Doctoral], Instituto Lenin, Moscu, 1985. [Traducción mecanografiada de S. Tijonov]

de diagnóstico que en la práctica deportiva pretendemos encontrar. Determinar de forma correcta y precisa este parámetro resulta de vital importancia en la totalidad de los deportes. Rodríguez-Alonso *et alii* <sup>32</sup> publicaron unas ecuaciones que, a partir de la fórmula de Parizkova y Buzhova (Peso Ideal = K x Masa Corporal Activa), permiten determinar, en cualquier disciplina deportiva, el peso adecuado en cada momento de la temporada. Lo habitual es que el peso del deportista sea mayor en la época más alejada de las competiciones más importantes, para ir disminuyendo de forma gradual y paralelamente a la evolución del estado de forma, conforme se acerca el momento clave en el que se deben alcanzar los máximos logros de esa temporada. En la tabla siguiente se analizan los valores propuestos por dicho autores según el momento de la temporada: Período de preparación general (PPG), período de preparación especial (PPE) y período de competición (PC):

Valor de K en cada fase de la temporada							
Fase de la Temporada	PPG		PPE		PC		
Deporte / Sexo	Н	M	Н	М	Н	M	
Medio-Fondo y Fondo	1.092	1.234	1.081	1.204	1.069	1.176	
Velocidad y Saltos	1.123	1.250	1.098	1.219	1.086	1.190	
Jabalina	1.149	1.298	1.123	1.263	1.111	1.234	
Disco, Peso y Martillo	1.265	1.368	1.219	1.333	1.190	1.298	

Tabla 25. Clasificación por especialidades atléticas.

En la gráfica siguiente<sup>33</sup> podemos ver como los saltadores masculinos de altura, pese a su elevada estatura, pertenecen a uno de los grupos de atletas que tienen un menor peso corporal. Este valor contrasta con las otras dos modalidades del atletismo que tienen practicantes de gran estatura (disco y peso), pero que, por las propias características de la prueba, necesitan deportistas más pesados.

<sup>31</sup> Zotko, R., art. cit., pp. 25-36.

<sup>&</sup>lt;sup>32</sup> Rodríguez Alonso, C.A., M.C. Fernández, M. Martínez, X. Martínez, "Aproximación hacia el cálculo del peso adecuado en la preparación del deportista", *Boletin Científico Técnico*, núm. 2, 1989, p. 6-32.

<sup>33</sup> Carter, J.E.L., opus cit., p.70.

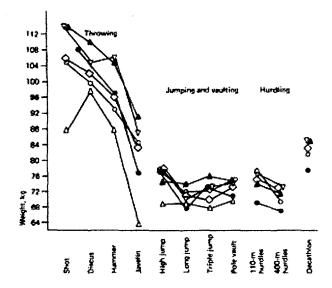


Fig. 12. Peso corporal en las diferentes disciplinas atléticas.

Su peso medio, tanto en el caso de los hombres como de las mujeres, es inferior en un intervalo de 7-9 kilos que es el que le correspondería a sujetos de la misma edad y estatura. Ello les proporciona una apariencia de sujetos con un somatotipo longilíneo.

### Índice de corpulencia

Para determinar el nivel de corpulencia de un sujeto se utiliza el denominado *índice de masa muscular (IMC = Peso / Altura <sup>2</sup>)*. Es un indicador de obesidad que presenta una aceptable correlación con el porcentaje de grasa y el grosor de panículos adiposos medidos por el procedimiento de pesada hidrostática. Estudios epidemiológicos vinculados con la evaluación de la salud estiman que un IMC entre 20-25 la mortalidad es muy baja, mientras que con valores entre 25-30 se considera baja, entre 30-35 moderada, entre 35-40 alta y, finalmente, muy alta por encima de 40. Los saltadores de altura suelen presentar valores de alrededor de 21 en el caso de los hombres y de 18 en las mujeres. Sin embargo, en esta modalidad atlética no es usual utilizar esta ecuación, la cual es sustituida por el *Indice Talla - Peso*<sup>34</sup> [(Peso Corporal / Estatura) x 100], ya que, tiene un mayor alcance a la hora de evaluar estados nutricionales de grandes poblaciones. De esta forma, estamos en condiciones de poder utilizar datos de otros

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> Talla expresada en metros y peso en kilogramos.

autores para poderlos comparar con los de nuestra muestra y, así, poder inferir sobre los mismos.

Durante años este parámetro ha presentado una tendencia clara sobre los especialistas en salto de altura que muestran un modelo de atleta ligero, poco musculado y corpulento, pero no por ello deficitario de niveles de fuerza. Los saltos atléticos son especialidades muy reactivas, en las que las manifestaciones explosiva elástico – reflejas son las que posibilitan al deportista de la tensión muscular necesaria para proyectar su centro de masas a la máxima velocidad vertical. Un exceso de volumen muscular podría permitir mayores niveles de fuerza máxima, ya que, cambios en la fuerza muscular son proporcionales a los diámetros del músculo y éstos a la altura y peso corporal (Tittel y Wutscherk)<sup>35</sup>, pero no garantizan una mayor fuerza reactiva en el saltador.

En la siguiente tabla advertimos como el índice peso/talla, especialmente entre las saltadoras, ha disminuido de forma significativa en los últimos años. Este comportamiento se debe fundamentalmente al incremento progresivo que se percibe en la estatura de estos especialistas. Por su parte, Vélez<sup>36</sup> señala que este índice no debe superar idealmente el valor de 400 para los hombres y 350 para las mujeres.

Explicación de la tabla: el supraíndice 1 corresponde a datos tomados de Carter<sup>37</sup> y el supraíndice 2, a la media de los 12 finalistas del campeonato al que hace referencia.

<sup>36</sup> Vélez, M., "Control de la planificación y desarrollo del rendimiento en el *fosbury-flop*", art cit. p.14. <sup>37</sup> Carter, J.E.L., opus cit., pp. 61-63.

<sup>&</sup>lt;sup>35</sup> Tittel, K. y H. Wutscherk, "Anthropometric factors", en, P.V. Komi (ed), *Strength and power in sport*, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 1991, p. 182.

Campeonato	Peso (	Peso (kilos)		Estatura (cm)		(P/E)
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Amsterdan-1928 <sup>1</sup>	69.0	-	179.5	•	384	-
Roma-1960 <sup>1</sup>	77.4	-	185.2	-	417	_
Tokio-1964 <sup>1</sup>	77.7	62.2	186.2	172.0	417	362
México- 1968 <sup>1</sup>	76.6	58.9	186.8	175.5	410	336
Munich-1972 <sup>1</sup>	76.8	62.8	185.8	175.3	413	358
Montreal-1976 <sup>1</sup>	74.5	62.5	186.0	177.0	401	353
Moscú-1980 <sup>2</sup>	82.0	61.0	191.0	177.0	427	345
Helsinki-1983 <sup>2</sup>	76.0	61.0	193.0	178.0	393	344
L. Ángeles–1984 <sup>2</sup>	74.0	61.0	192.0	177.0	384	344
Roma-1987 <sup>2</sup>	78.0	60.0	194.0	178.0	401	335
Seúl-1988 <sup>2</sup>	76.0	61.0	194.0	180.0	393	337
Barcelona-1992 <sup>2</sup>	75.5	60.8	191.0	181.0	395	335
Stuttgart-1993 <sup>2</sup>	74.0	61.0	192.0	180.0	386	337
Göteborg-1995 <sup>2</sup>	76.0	61.0	192.0	180.0	394	338
Atlanta-1996 <sup>2</sup>	74.2	60.6	191.0	178.0	387	339
Atenas-1997 <sup>2</sup>	76.0	60.0	193.0	179.0	395	336
Sevilla-1999 <sup>2</sup>	77.0	60.0	190.0	182.0	404	331
Sydney-2000 <sup>2</sup>	77.3	59.4	190.3	178.0	406	334
Edmonton-2001 <sup>2</sup>	77.7	60.7	188.7	180.6	409	335

Tabla 26. Índice de hombres y mujeres en las citas más importantes.

### Importancia del peso corporal y del índice peso / talla en los saltadores de altura de nivel internacional

Al observar a los mejores saltadores mundiales, lo que hemos comentado anteriormente queda totalmente ratificado. El peso corporal de aquellos saltadores que tienen marca personal igual o superior a los 2.36 metros presentan valores extraordinariamente bajos (76.4 kilos) con índices (397.3) muy inferiores a los que vimos en los participantes de los últimos Juegos Olímpicos y Campeonatos Mundiales.

Atleta	Peso Corporal	Estatura	Índice P/T
Javier Sotomayor	82	1.95	420.5
Patrik Sjöeberg	78	2.00	390.0
Carlo Thränhard	84	1.98	424.2
Igor Paklin	72	1.91	377.0
Rudolf Povartnisin	75	2.02	371.3
Sorin Matei	67	1.84	364.1
Charles Austin	77	1.84	418.5
Vyacheslav Voronin	78	1.90	410.5
Hollis Conway	66	1.83	360.7
Zhu Jinhua	70	1.93	362.7
Dietmar Mögemburg	78	2.01	388.1
Ralf Sonn	85	1.97	431.5
Gennadiy Avdeyenko	84	2.02	415.8
Sergey Malchenko	74	1.90	389.5
Dragutin Topic	77	1.97	390,9
Troy Kemp	69	1.87	369.0
Artur Partyka	69	1.92	359,4
Steve Smith	66	1.85	356.8
Wol-Hendrik Beyer	82	2.00	410.0
Valeriy Sereda	73	1.86	392.5
Tom McCants	79	1.85	427.0
Jerome Carter	66	1.85	356.8
Sergey Dymchenko	84	2.02	415.8
Dalton Grant	76	1.85	410.8
Gerd Wessig	84	2.01	417.9
Sergei Zasimovich	73	1.88	388.3
Hedí Annys	73	1.87	390.4
Jim Howard	80	1.96	408.2
Jan Zvara	85	1.90	447.4
Gerd Nagel	77	1.88	409.6
Nick Saunders	75	1.88	398.9
Dough Nordquist	79	1.94	407.2
Georgi Dakov	78	1.95	400.0
Lambros Papakostas	78	1.93	404.1
Steinar Hoen	77	1.93	399.0
Tim Forsyth	73	1.96	372.4
Sergei Klyugin	77	1.84	418.5
Konstantin Matusevich	85	2.02	420.8
Media	76. 447	1. 923	397. 26
DT	5.682	0.62	23.60

Tabla 27. Atletas con una marca comprendida entre 2.45 m. -2.36 m.

Entre los diez mejores saltadores, estos valores disminuyen aún más, agudizando el perfil constitucional ya definido (Peso Corporal:  $74.9 \pm 6.1$ ; ITP:  $389.9 \pm 26.1$ ). No obstante, la variabilidad que se observa entre los líderes de esta disciplina es bastante importante. Por un lado, encontramos saltadores bastante poco corpulentos, como es el caso de Conway, Jinhua y Matei, pero también vemos otros como Austin, Thränhard o Sotomayor que muestran una imagen de saltador bastante fuerte. Los diez mejores saltadores son menos pesados que la media del resto de saltadores, lo que resulta un anacronismo si tenemos en cuenta que su estatura media es superior.

A continuación, se muestra la línea de tendencia entre los valores de peso corporal e índice talla / peso en los saltadores internacionales masculinos con un mejor registro igual o superior a los 2.36 metros.

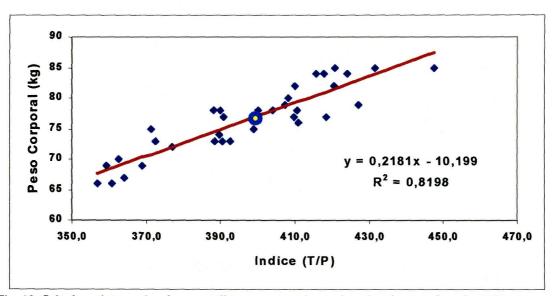


Fig. 13. Saltadores internacionales masculinos con un mejor registro igual o superior a los 2.36 m.

El valor del índice (Peso/Talla) de los varones está fuertemente influenciado por el valor de la primera variable (peso corporal) y no por la estatura del deportista. Esto permite que sea controlado con bastante facilidad a través de la dieta y del tipo de entrenamiento, evitando en todo momento, hipertrofias innecesarias del tronco y miembros superiores, además, buscando hipertrofias selectivas en las estructuras musculares del miembro inferior (músculos, tendones, resto de tejido conjuntivo, huesos y ligamentos).

## Importancia del peso corporal y del índice peso / talla en las saltadoras de altura de nivel internacional

Entre las saltadoras mundiales que actualmente ocupan los puestos más elevados de todos los tiempos es donde se puede ver con claridad la baja corpulencia de las practicantes de esta disciplina. Véase en la tabla siguiente dichos valores en la categoría femenina:

Atleta	Peso Corporal	Estatura	Índice P/T
Stefka Kostadinova	60	1.80	333,3
Lyudmila Zecheva-Andanova	60	1.77	339,0
Heike Redetzky-Henkel	64	1.81	353,6
Tamara Bykova	62	1.79	346,4
Inga Butkus-Babakova	58	1.80	322,2
Silvia Costa	60	1.79	335,2
Alina Astafei	62	1.81	342,5
Hestrie Storbeck-Cloete	68	1.85	367,6
Venelina Veneva	56	1.77	316,4
Ulrike Meyfarth	71	1.88	377,7
Louise Ritter	59	1.78	331,5
Tatiana Motkova-Babachin	68	1.75	388,6
Niki Bakoyanni	54	1.71	315,8
Susanne Helm-Beyer	60	1.77	339,0
Yelena Yelesina	57	1.84	309,8
Monica Iagar-Dinescu	68	1.86	365,6
Sara Simeoni	61	1.78	342,7
Olga Turchak	60	1.90	315,8
Desiree Du Plessis	64	1.84	347,8
Heike Balk	55	1.78	309,0
Hanne Haugland	63	1.83	344,3
Yelena Rodina-Gulyayeva	62	1.81	342,5
Kajsa Bergqvist	57	1.75	325,7
Ioamnet Quintero	70	1.89	370,4
Gabrielle Niebling-Gunz	63	1.82	346,2
Tisha Waller	59	1.83	322,4
Rosemarie Witschas-Ackermann	59	1.75	337,1
Coleen Rienstra-Sommer	59	1.78	331,5
Charmaine Gale-Weavers	65	1.78	365,2
Emilia Petnakova-Dragieva	53	1.70	311,8
Lyudmila Petrus-Avdeyenko	62	1.80	344,4
Svetlana Isaeva-Leseva	60	1.76	340,9
Larisa Kositsyna	58	1.82	318,7
Jan Chresbo-Wohlschalag	67	1.86	360,2
Yolanda Henry	52	1.68	309,5
Biljana Petrovic	60	1.76	340,9
Tatiana Shevchk	59	1.78	331,5
Britta Vöros-Bilac	62	1.81	342,5
Amy Acuff	59	1.88	313,8
Dóra Györffy	55	1.75	314,3
Zuzana Kovacikova-Hlavonová	60	1.78	337,1
Media	60, 76	1. 798	<b>337.1</b>
DT	4.42	0.05	19.8

Tabla 28. Atletas con marcas entre 2.09 m. - 2.00 m.

El peso corporal medio es muy similar en los tres grupos en que organizamos la muestra global [1<sup>a</sup>-10<sup>a</sup> (>2.03): 62.10 ± 4.53 kg; 1<sup>a</sup>-50<sup>a</sup> (2.02-1.99): 60.68 ± 4.24 kg; 51<sup>a</sup>-100<sup>a</sup> (1.99-1.95): 60.33 +/- 4.36)] de las mejores saltadoras mundiales, pero el hecho de que la estatura sea ligeramente superior en el primero de ellos, coloca el coeficiente peso corporal / estatura en un valor inferior conforme aumenta la categoría del deportista (343,4 vs. 340,55 vs. 341,90). Son muy pocas las saltadoras que, con un registro superior a 1.95 metros, poseen un índice de corpulencia inferior a 310 (Yelesina, Balk, Henry, Matay, Nyekrasova, Komsa, Lavrova o Topchina), de la misma forma que es raro encontrar saltadoras con un valor superior a 380 (Motkova, Brandt, Butuzova, Mihalcea o Nitzsche), estableciendo los extremos opuestos de estos valores.

Véase asimismo la línea de tendencia entre los valores de peso corporal e índice talla / peso en las saltadoras internacionales con un mejor registro igual o superior a los 2.00 metros.

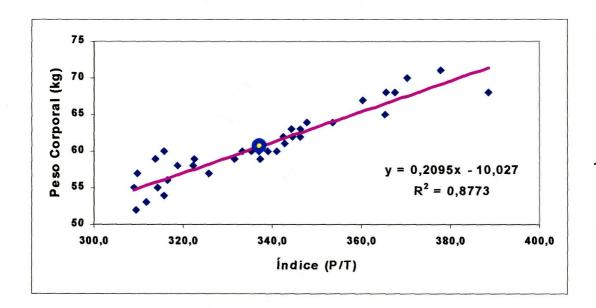


Fig. 14. Féminas internacionales con un mejor registro igual o superior a los 2.00 m.



### Importancia del peso corporal y del índice peso / talla en las saltadoras de altura nacionales

En nuestra muestra observamos que los valores medios de peso e índice de corpulencia (peso/talla) son muy similares a los de atletas de categoría internacional (H: >2.36; M: >2.00 metros), aunque con ligeras diferencias entre los dos sexos.

Sexo	Peso (kg)	Estatura (cm)	Índice P/E
Mujeres	60.4	177.6	340.3
	_ ± 4.3	± 0.05	± 19.7
Hombres	74.5	1.915	388.3
	± 6.3	± 0.02	± 30.5

Tabla 29. Parámetros antropométricos.

Los hombres españoles son algo más ligeros (1.9 kg), y tienen un índice de corpulencia también menor (-8.96), aunque ambas diferencias no son estadísticamente significativas. Por el contrario, las mujeres, pese a tener un peso corporal muy similar al de las saltadoras internacionales, el índice de corpulencia es algo mayor (+2.20). Debemos recordar que estas mismas saltadoras son en dos centímetros ligeramente más bajas que las de referencia.

La doctoranda, ex deportista de alto nivel en la especialidad de salto de altura, siempre ha considerado que la relación peso corporal/ estatura estaba en consonancia con el rendimiento y la obtención de grandes registros deportivos. En el momento del logro de la mejor marca personal, la que suscribe esta investigación, acreditaba un valor de 304, y buscaba un valor cercano o incluso por debajo de 300.

### Somatotipo de los mejores saltadores de altura

Aunque no tan relevante como los parámetros antropométricos anteriormente analizados, el somatotipo nos permite obtener información sobre la configuración morfológica de los deportistas. El concepto de somatotipología nace en los años 50

como consecuencia de los trabajos de Sheldon et alii<sup>38</sup>, los cuales trataron de encontrar un sistema para determinar la tipología de las personas sin que existiesen factores subjetivos importantes como existían en otros sistemas de evaluación. Engloban el análisis de diferentes aspectos de una persona, con especial referencia a su complexión física, su forma, su proporcionalidad y su composición corporal.

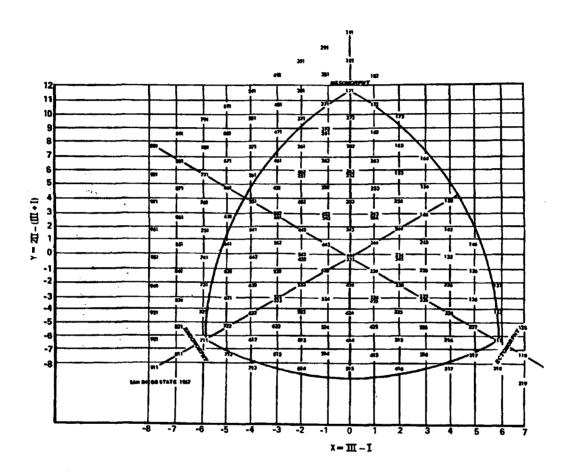


Fig. 15. Ejemplo de somatocarta.

Los autores desarrollan un método de clasificación del cuerpo humano basándose en la estimación de los tres componentes primarios embrionarios (endodermo, mesodermo y ectodermo) en un rango de valores que iba de 1 a 7 que posteriormente fue ampliado para la mesomorfia y la endomorfia. A lo largo de las siguientes décadas, la técnica ha venido siendo perfeccionada con las aportaciones,

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> Sheldon, W.H., G.W. Dupertius, E. McDermott, *Atlas of men: a guide for somatotyping the adult male at all ages*, Harper & Brothers, New York, 1954.

principalmente, de Parnell<sup>39</sup> o las de Heath y Carter<sup>40</sup>, los cuales proponen la determinación de la endomorfia, la mesomorfia y la ectomorfia a partir de las siguientes variables antropométricas: peso, talla, panículos (tríceps, subescapular, suprailíaco y pantorrilla), circunferencias (bíceps contraído con flexión del codo en 90° y pantorrilla) y diámetros corporales (húmero y fémur).

### Estudio de la constitución de los deportistas olímpicos

Son escasos los estudios que abordan la problemática de forma detallada y amplia, sobre el biotipo de los deportistas de alto nivel y, menos aún, de saltadores/as de altura con nivel internacional. Entre la documentación disponible, hay dos factores que hacen disminuir, de forma significativa, el valor de sus aportaciones. En todos ellos la muestra utilizada es muy reducida y, en ocasiones, los datos se presentan unidos al de otras modalidades atléticas, como es el caso de los saltos donde se suelen mezclar a los saltadores de altura con los de longitud y triple.

Según la revisión histórica de Borms y Hebbelinck<sup>41</sup>, el origen de los estudios se sitúa en los trabajos de Buytendijk realizados con los participantes en los Juegos de Invierno de Saint Moritz (1928) y los de verano de Amsterdan de ese mismo año. Las medidas directas que se tomaron fueron la talla, el peso corporal y las circunferencias del brazo y la pantorrilla, a las cuales añadió algunos valores expresados en porcentaje respecto a la estatura, que correspondían a la circunferencia del tórax, diámetro biilíaco, diámetro biacromial y longitud de la pierna. Posteriormente, se hicieron algunas mediciones en los Juegos de Londres-1948 (Cureton), Helsinki-52 (Jokl) con diferentes objetivos, hasta llegar a la Olimpiada de Roma en la que comenzaremos nuestra revisión.

<sup>&</sup>lt;sup>39</sup> Parnell, R.W., "Somatotyping by physical antropometry", en Am. Journal. Phys., 1954, vol.12, pp. 209-239

Heath, B.H., JEL. Carter, "A modified somatotype method", en Am. J. Phys Antropology, 1967, vol. 27, pp. 57-74.

<sup>&</sup>lt;sup>41</sup> Borms, J. y M. Hebbelinck, "Review of studies on Olympic athletic", en, *Physical Structure of Olympic Athletes*, Carter J.E.L. (ed), Karger, Basel, p.7-27, 1984.

Los resultados del primer estudio del que disponemos son de Tanner<sup>42</sup>; se evaluó el somatotipo de las distintas modalidades atléticas con los participantes en los Juegos Olímpicos de Roma (1960). En este trabajo, pese al bajo número de sujetos medidos en algunas especialidades ya se aprecia como los deportistas más fuertes (lanzadores) son los que tienen unos valores más altos en el segundo componente (mesomorfia) y los más espigados (saltadores) los que presentan un valor más alto del tercero (ectomorfia). En esta muestra los saltadores de altura se encuadran dentro de la categoría de los ectomorfos-mesomorfos, a quienes corresponden aquellos sujetos en los que la ectomorfia y la mesomorfia son iguales, o con diferencias menores a 0.5, y la endomorfia es menor que las anteriores (Endomorfia: 2.2; Mesomorfia: 4.1; Ectomorfia: 4.4).

Disciplina	$N^o$	Endomorfia	Mesomorfia	Ectomorfia
100 / 200metros	12	2.5	5.5	2.9
400 metros	11	2.5	4.6	4.0
800 / 1500 metros	16	2.6	4.3	4.3
5000 / 10.000 metros	19	2.2	4.2	4.3
Maratón	9	2.6	4.4	3.9
110 metros vallas	3	2.3	5.5	3.2
400 metros vallas	5	2.3	4.6	3.7
3.000 obstáculos	4	2.0	4.1	4.5
50 km Marcha	6	2.5	4.4	4.2
Salto de Altura	8	2.2	4.1	4.4
Salto de Longitud	2	2.2	5.0	3.5
Salto con Pértiga	2	2.0	4.5	4.2
Triple Salto	3	2.8	3.7	4.2
Lanzamiento de Peso	2	3.2	6.2	2.0
Lanzamiento de Disco	6	2.7	6.0	2.5
Lanzamiento de Jabalina	2	3.8	5.9	2.0
Lanzamiento de Martillo	2	3.7	5.5	2.2

Tabla 30. Somatotipo medio de atletas masculinos Olímpicos.

Más tarde, durante los Juegos Olímpicos de Méjico (1968), bajo la dirección de Ramírez Vázquez, se desarrolló el Programa de Genética y Radiobiología, de la Comisión Nacional Mejicana de Energía Nuclear, aplicado al campo del deporte. Este, por aquel entonces ambicioso proyecto, permitió el estudio de 5240 deportistas (20.79% del total de participantes) de 92 de las 115 delegaciones, publicándose los resultados por

<sup>&</sup>lt;sup>42</sup> Tanner, J.M. *The physique of the Olympic athlete*, Allen and Unwin, London, 1964.

de Garay et alii<sup>43</sup>. En atletismo se midieron 399 deportistas de 41 modalidades diferentes. Cuarenta y tres de estos deportistas (H. 31 y M: 12) formaban parte del grupo de saltadores en los que se incluyó a los saltadores de longitud (M y F), altura (M y F) y pértiga (M). Los resultados del somatotipo de los varones fue de 1.7 ( $\pm$  0.38) – 4.4 ( $\pm$  0.76) - 3.4 ( $\pm$  0.75), mientras que en el caso de las mujeres fue de 2.2 ( $\pm$  0.54) - 3.3 ( $\pm$  0.68) - 3.7 ( $\pm$  0.89).

En los Juegos Olímpicos de Montreal, Carter *et alii*<sup>44</sup> desarrollaron otro proyecto de similares características al anterior, en el que se estudiaron 457 deportistas (H: 309 y M: 148) que fueron comparados con un grupo de control formado por 247 estudiantes universitarios canadienses de ambos sexos. Sólo diez mujeres de la muestra correspondían al grupo de saltadoras (longitud y altura), las cuales presentaron un somatotipo de 2.4 ( $\pm$  0.24) - 2.7 ( $\pm$  0.89) - 4.3 ( $\pm$  0.82). En un estudio previo del mismo autor, se hace referencia a un trabajo de Guimaraes y de Rose<sup>45</sup> en el que se midió a once saltadoras de altura brasileñas, un somatotipo de 2.8  $\pm$  0.66 - 2.0  $\pm$  0.66 - 4.9  $\pm$  0.75, lo que sitúa a estas saltadoras en la categoría de ectomórficas balanceadas (predominio de la ectomorfia y la mesomorfia y la endomorfia similares y con una diferencia menor a 0.5).

El la figura se ilustra una somatocarta de diferentes modalidades atléticas en deportistas olímpicos masculinos (zona superior) y femeninos (zona inferior):

<sup>&</sup>lt;sup>43</sup> Garay, A.L de, L. Levine, J.E.L. Carter, Genetic and anthropological studies of Olympic athletes, Academic Press, New York, 1974.

<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> Carter, J.E.L., S.P. Aubry y D.A. Sleet, "Somatotypes of Montreal *Olympic Athletes*", en, J.E.L.Carter, *Physical Structure of Olympic athlete.Part I*, Karger, Basel, vol. 16, pp.53-80, 1982.

<sup>&</sup>lt;sup>45</sup> Guimaraes, A. y F.H. de Rose, "Somatotype of Brazilian student track and field athletes of 1976", Congress in sport Medicine, Brasilia, 1978, pp. 231-238.

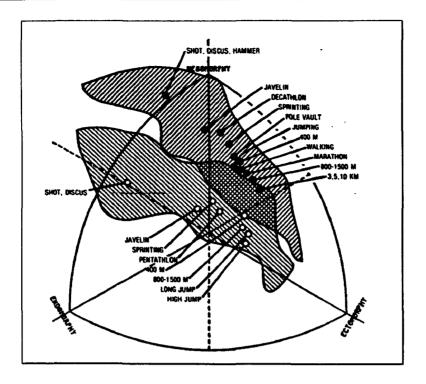


Fig. 16. Somatocarta de deportistas olímpicos.

Carter<sup>46</sup> hace una excelente revisión de los estudios realizados en diferentes Juegos Olímpicos, a la que pertenece la figura anterior. En la somatocarta no aparece el salto de altura masculino de forma detallada sino incluido en el ítem de saltos. Podemos comprobar cómo las saltadoras de altura son las que, de todas las modalidades atléticas, presentan un biotipo claramente ectomórfico. Este es el perfil que se observa entre los mejores saltadores/as mundiales, aunque no disponemos de los valores concretos que corresponden a estos deportistas.

Lamentablemente la información que se proporciona sobre esta modalidad atlética es insuficiente, y no nos permite ampliar los conocimientos que ya tenemos sobre el somatotipo ya disponemos. Esta falta de referencias es extensible a los deportistas españoles, lo que nos impide realizar un estudio comparativo con los de nivel internacional.

<sup>46</sup> Carter, J.E.L., opus cit, p.93.

Del estudio sobre las características cronológicas, morfológicas y constitucionales del saltador/a de altura, tanto de nivel internacional (muestra de referencia) como nacional (muestra experimental), podemos destacar las siguientes conclusiones:

- 1. Pese a la enorme dificultad que desde el punto de vista técnico entraña esta modalidad atlética, tanto los saltadores como las saltadoras de altura de nivel internacional, presentan una edad media inferior (H: 24.624 ± 2.43; M: 25.419 ± 3.36), a la del resto de concursos atléticos en el momento de realizar su mejor marca personal. En comparación con ellos, nuestra muestra tenía, en el momento de realizar el estudio, una edad similar a la de los deportistas utilizados como muestra de referencia.
- 2. La estatura de los saltadores de la muestra experimental (191.5 ± 0.036 centímetros) es similar a la de los mejores saltadores mundiales de todos los tiempos (10 primeros, 50 primeros y 100 primeros). Sin embargo, las mujeres son ligeramente más bajas que las clasificadas en los mismos lugares del ranking mundial femenino (177.6 ± 0.053 centímetros vs. 180.7, 179.04 y 179.00 centímetros). No obstante, en ningún caso, las diferencias son estadísticamente significativas.
- 3. Tanto los saltadores como las saltadoras de nivel internacional presentan un peso corporal entre 7-9 kilos más bajo que el que les correspondería a sujetos de su misma estura (76.5 ± 5.7 y 60.8 ± 4.42 kilos, respectivamente), valores que son muy similares a los de la muestra nacional (74.5 ± 6.3 kilos y 60.4 ± 4.3 kilos).
- 4. La corpulencia de nuestros saltadores de la categoría masculina es algo menor que los de nivel internacional (388.3 ± 30.5 vs. 397 ± 23.6), aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Por el contrario, nuestras saltadoras son más corpulentas que las de nivel internacional (340.3 ± 19.7 vs. 337.8 ± 19.8).
- 5. Por los datos aportados y con las reservas que todo estudio requiere, podemos afirmar que no existen diferencias significativas en edad y constitución entre

nuestra muestra y los practicantes del mismo sexo con resultados deportivos de máximo nivel internacional. Por lo que las diferencias de nivel deberán extraerse desde la óptica de los aspectos entrenables como los condicionales y/o técnicos aunque también deberíamos tener presente que otros aspectos como el psicológico y el sociológico puedan dar algo de luz a esta divergencia de niveles de rendimiento.

6. Por consiguiente, a la luz de los datos obtenidos, estimamos que el futuro perfil del saltador de altura de alto nivel debe ser un sujeto bastante alto, ligero de peso, pero con la consistencia suficiente para desarrollar con sus piernas elevados niveles de fuerza (picos de fuerza en la batida de unas siete veces su peso corporal). Con respecto al diferencial, que actúa de manera inversamente proporcional a la estatura, nos induce a pensar que saltadoras/es demasiado alto/as no son capaces de aprovechar su talla en la proporción de los saltadores de menor estatura. Por tanto, saltadores con una altura intermedia (respecto a los valores de normalidad para este tipo de deportistas) obtendrán mejores resultados.

### LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- A raíz de las revisiones realizadas, las futuras investigaciones podrían tener como eje principal el análisis del somatotipo de los mejores saltadores de altura y su influencia en el rendimiento deportivo, incluso ampliarlo a otras especialidades atléticas de las cuales no hay suficiente literatura.
- Sería interesante estudiar por qué los deportistas demasiado altos (estaturas por encima de los 1.96 metros en los varones y de 1.85 metros en las mujeres) no son precisamente los que más saltan por encima de su cabeza.

#### CAPÍTULO III

# ANÁLISIS DE LA CARRERA EN LA ESPECIALIDAD DEL SALTO DE ALTURA ESTILO FOSBURY-FLOP

#### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La carrera se considera una habilidad sencilla, instintiva y de las más naturales que como desplazamiento posee el ser humano. Sin embargo, al estar sujeta a unos principios mecánicos muy complejos se le confiere una estructura dificil. El 47 % de la masa total del cuerpo humano ha de movilizarse para ponerse en marcha, parar o frenar un movimiento. Esto exige la acción coordinada de todas las partes del cuerpo y la aplicación de fuerzas en la dirección adecuada (Dyson¹), salvo que sea sometido a un riguroso proceso de aprendizaje y/o automatización. En el alto rendimiento, dominar, controlar y coordinar este gesto con eficiencia es una tarea ardua si las miras están en conseguir altas prestaciones deportivas.

Durante una carrera atlética, independientemente de su velocidad y objetivo, se alternan siempre fases de apoyo con fases de vuelo que unidas, configuran cada una de las zancadas que el deportista debe ejecutar durante la misma. Plas et alii² señalan que en la marcha, y por tanto también en la carrera, intervienen seis parámetros biomecánicos esqueléticos; en el plano sagital: rotación de la pelvis alrededor del eje vertical, basculación de la pelvis hacia el lado sin carga, flexión de la rodilla durante el apoyo, movimientos de pie y tobillo, coordinación de los movimientos de rodilla y tobillo, y en el plano frontal: desplazamiento lateral de la pelvis. Todos estos componentes garantizan la estabilidad de la unidad locomotora y además permiten la sincronización estabilidad/movilidad de la misma.

En las modalidades atléticas de salto, la carrera de impulso constituye la fase que pone al atleta en movimiento con el fin de dirigirse hacia un lugar donde poder realizar una batida intensa y eficaz. La carrera en el salto de altura tiene como objetivo lograr la

Dyson, G.H.G., Mecánica del atletismo, Stadium, Argentina, p.119.

velocidad horizontal óptima y crear las condiciones necesarias para que el C.M. salga proyectado a la máxima velocidad potencial y conseguir la superación del listón. Esto implica aproximarse al mismo en una dirección determinada y despegar con el ángulo adecuado hacia un punto lo más alto posible que coincida con la proyección vertical del listón.

Nuestro estudio pretende analizar algunos factores que repercuten en el logro de una correcta carrera de impulso, de forma muy particular, en la variante denominada fosbury -flop. De todos ellos, podemos considerar como más importantes: (a) la velocidad con la que se pretende llegar al punto de despegue; (b) la trayectoria curva que realiza el saltador para que junto a otras acciones propias de la batida faciliten la colocación del cuerpo respecto al listón.

#### LA VELOCIDAD EN LA CARRERA DE IMPULSO

Uno de los objetivos que el deportista busca con la carrera en cualquier estilo del salto de altura, tenemos el conseguir una velocidad que transformada en impulso vertical y que aplicada sobre el C.M. del cuerpo le permita franquear la máxima altura posible. Para ello, la velocidad con la que se pretende llegar al final de la carrera será la máxima velocidad horizontal que sea capaz de controlar el atleta en el momento de impulsarse hacia el mismo. Pero no menos importante, la exactitud del despegue y la adecuada postura para el mismo (Lundin y Berg<sup>3</sup>). Una buena combinación de estos ingredientes definirá el salto ideal.

En definitiva, la carrera de impulso no es simplemente correr por correr, sino que implica hacerlo con una actitud y predisposición agresiva. El saltador debe ser capaz de aprovechar la inercia que acumula durante la carrera para superar un listón cada vez más alto.

Conforme aumenta la velocidad con la que se desplaza un cuerpo, mayor es la energía cinética que posee y por lo tanto, más dificil será su control o modificar su

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Plas, F., E. Viel, e Y. Blanc, La marcha humana: Cinesiología dinámica, mecánica y patomecánica, Editorial Masson, S.A., Paris, 1984, p. 9.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Lundin, P. y W. Berg, "Developing the approach in the jumps", News Studies Reviews, London, vol. 8, núm. 1, p. 45.

trayectoria. Esto que a primera vista parece algo perjudicial en la ejecución de un salto de altura, resulta fundamental para conseguir incrementar la fuerza reactiva que desarrolle el saltador durante la batida. De la misma manera, cuanta más energía cinética se acumule durante la carrera, mayor fuerza ejercerá el cuerpo del saltador sobre el pie de batida durante la impulsión, lo que en caso de poseer la fuerza necesaria para controlarla, se traducirá finalmente en mayor componente vertical en la proyección del centro de masas en el momento del despegue.

La tendencia en la evolución del rendimiento en el salto de altura y la experiencia de los mejores entrenadores, predicen que en el futuro, la superación de las marcas vendrá en gran medida como consecuencia de un aumento de la velocidad de la carrera de impulso que utilice el saltador. Sin embargo, para cada paso existe un máximo individual que de llegar a sobrepasarse o no alcanzarse podría interferir en la eficacia del salto. Cuando se desarrolla una excesiva velocidad, la pierna de batida del deportista no podrá soportar la presión que ejerce su cuerpo contra el suelo durante el último apoyo y por lo tanto, perderá gran parte de la energía cinética acumulada en la carrera impidiendo que se transforme en energía potencial ascensional al final de la impulsión.

En este sentido, Laffaye<sup>4</sup> considera un error técnico desarrollar una excesiva velocidad. Opina que las consecuencias pueden ser graves porque no van a permitir el aumento de la frecuencia necesario durante la carrera en curva ni la utilización óptima del reflejo de estiramiento o el aumento de la rigidez del resorte. Subraya, que ésta debe conseguirse de forma progresiva y en coherencia con el aumento de la velocidad. En un primer momento Alexander<sup>5</sup> o Dapena *et alii*<sup>6</sup> y más recientemente, Greig y Yeadon<sup>7</sup> o Linthorme y Kemble<sup>8</sup> han desarrollado modelos teóricos de salto que predicen la técnica óptima que mejor se ajusta a las características del saltador, incluyendo en ellas las peculiaridades específicas de la carrera y su posterior consecuencia sobre la batida.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Laffaye, G., "Le saut en hauteur en Fosbury et les facteurs de perfomance", Science et motricité, France, núm. 42, 2001, p.5.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Alexander, R., "Optimun take-off techniques for high and long jump", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B 329, 1990, pp. 3-10.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Dapena, J., C. Mc Donald y J. Cappaert, "A regression analysis of high jump technique", *Internacional Journal of Sport Biomechanics*, vol. 6, núm. 3, 1990, pp. 246-261.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Greig, M.P. y m.R. Yeadon, "The influence of the approach on high jump perfomance", Athletics Coach, núm. 30, 1997, pp. 10-13.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Linthorne, N.P. y B. A. Kemble, "Take-off technique in the high jump", Abstract, 2000.

Las limitaciones en el beneficio que proporciona el incremento de la velocidad en la carrera de impulso de salto de altura estilo *fosbury-flop* no responden a los mismos criterios que condicionan el rendimiento en disciplinas de salto como es el caso del salto de longitud. En esta modalidad atlética, la mejora de la velocidad de impulso a la batida se convierte en el objetivo principal, ya que es un hecho demostrado que de lograrlo, estaremos en condiciones de mejorar significativamente la distancia del salto. En este sentido, Schlek<sup>9</sup> comprobó que utilizando métodos auxilares (*towing method*) de incremento de la velocidad, los saltadores de longitud podían mejorar la longitud de salto de manera significativa (20-64 centímetros).

Partiendo de estos supuestos en los que se apoyan los trabajos descritos, podemos aceptar que la progresión de las marcas, especialmente desde la aparición del fosbury flop, han venido determinadas por: un aumento de la fuerza de impulso durante la batida, un incremento de la resistencia ofrecida en la misma que permita aprovechar con eficacia la energía desarrollada en la carrera y en la posibilidad de incrementar la velocidad con la que el saltador se aproxima al punto de batida. Ya en su día, Dyatchkov<sup>10</sup> afirmó que el camino hacia el logro de saltos iguales o superiores a los 2.50 metros es conocido: "la velocidad de carrera debe elevarse sobre los 7 m.s<sup>-1</sup>. Una mejora de la velocidad en 0.1 m.s<sup>-1</sup> con un ángulo de despegue de 63-65 grados supone mecánicamente una elevación del C.M. del cuerpo de 4.5 centímetros". Sus teorías avaladas por numerosos estudios le han dado la razón en su principio básico, aunque también es cierto que estas marcas, aún lejanas al día de hoy, precisan velocidades de entrada superiores a los 8.0 m.s<sup>-1</sup> y en consecuencia, también ángulos de despegue inferiores a 60°.

Sin embargo, parece imposible obtener grandes resultados realizando despegues a la máxima velocidad que sea capaz de desarrollar un atleta en condiciones normales, o incluso, a velocidades muy cercanas a estos valores máximos potenciales. Tal importancia recibe este parámetro, que para muchos entrenadores es interesante saber con exactitud el momento en que se consigue la velocidad máxima controlable; aspecto

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Schlek, A., "A long jump with supramaximal and normal speed", New Studies Atlhetics, vol. 17, núm. 2, 2002, pp. 37-43.

Citado por Oliver, A. en su artículo "Posibilidades del fosbury flop", Atletismo Español, Madrid, núm. 170, 1971, pp. 39.

fundamental para optimizar al máximo la carrera de impulso y por lo tanto, el salto (Bothmischel)<sup>11</sup>.

En la actualidad, percibimos como las velocidades con la que llegan los saltadores de élite al punto de batida son muy elevadas y significativamente superiores a las que alcanzaban los deportistas que empleaban la técnica conocida como rodillo ventral. Hoy en día, estamos acostumbrados a ver saltadores de nivel internacional que llegan a la batida con una velocidad cercana o superior a los 7.5 m.s<sup>-1</sup>. En una revisión realizada sobre sesenta y siete atletas internacionales, cuyos datos aparecen publicados en la bibliografía especializada, se observan valores de referencia de 7.37 m.s<sup>-1</sup> (SD: ± 0.40 m.s<sup>-1</sup>), mientras que en las mujeres se observan velocidades próximas o superiores a los 7.00 m.s<sup>-1</sup> (valores de referencia: 6.82 m.s<sup>-1</sup>; ± 0.42 m.s<sup>-1</sup>). Esto supone una diferencia de alrededor del 6-7 % entre ambos sexos. De estos saltos, en sólo seis de ellos se iguala o se supera una velocidad equivalente o superior a los 8.00 m.s<sup>-1</sup>, los cuales pertenecen a los atletas Sotomayor, Paklin, Wessig, Topic, Harris y Staton, todos ellos de reconocido prestigio internacional.

Un caso excepcional no incluido en los sesenta y siete atletas antes mencionados, es el de los valores que presentó Hongfei<sup>12</sup> durante el IX Congreso de la Asociación Mundial de Entrenadores, celebrado en la ciudad californiana de Santa Mónica. El autor señaló que el entonces plusmarquista mundial chino Zhu Jianhua (2,39 metros en Eberstadt el 10 de junio de 1984) entró a una velocidad de 8.70 m.s<sup>-1</sup> en su salto sobre 2.38, y a una velocidad de 8.73 m.s<sup>-1</sup> en otro de 2.37 metros realizado en 1983. Estas velocidades resultan sorprendentes si nos remitimos a los datos que suelen aparecer en la bibliografía, donde rara vez encontramos algún saltador que sea capaz de entrar, en la última zancada, con una velocidad igual o superior a los 8.00 m.s<sup>-1</sup>.

Obviamente, si el atleta corriera en línea recta, la velocidad con la que podría entrar a la batida sería superior; sin embargo, esta manera de correr no nos permitiría ejecutar con facilidad ese salto hacia atrás que conlleva la técnica del *fosbury-flop*. Una de las razones por la que dicha acción resulta técnicamente imposible está en la falta de

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Bothmischel, V.E., "Model characteristics of the high jump run-up". *Modern Athlete and Coach*, Australia, núm.4, 1990, p.4.

tiempo del que no dispondría el saltador para lograr una buena colocación/alineamiento tanto de entrada como de salida de la batida, ni para aplicar la fuerza suficiente contra el suelo, tanto más cuanto más perpendicular fuera la carrera respecto al listón. Asimismo, iría en detrimento de la elevación vertical.

En este estilo de salto, el nivel de velocidad que se busca en la impulso en curva se podría elevar mediante un aumento en la longitud total de la misma. Esto será cierto siempre que el tramo en recta sea para este fin, y que posteriormente la velocidad conseguida en la primera parte de la carrera pueda ser controlada y mantenida en la impulso curva hacia el punto donde se realice la batida. En cualquier caso, las investigaciones parecen indicar que para superar la velocidad de 7.0 m.s<sup>-1</sup> al final de la carrera de impulso, es necesario realizar un mínimo de nueve zancadas, además de las dos últimas zancadas de preparación de la batida (Conrad y Ritzdorf<sup>13</sup>).

COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DURANTE LA CARRERA DE IMPULSO

Según Dapena<sup>14</sup> et alii

La carrera debe comenzar con una progresión gradual en la que cada paso es un poco más largo y más rápido que el anterior, para después de otros pocos pasos, encontrarse el saltador corriendo bastante rápido efectuando zancadas largas y relajadas muy similares a los que realizan la mayor parte de los corredores especialistas en pruebas de 400-800 metros.

Los testimonios en este sentido son abundantes<sup>15</sup>. Los dos, tres o cuatro últimos pasos de la carrera se deben efectuar con la menor pérdida posible de velocidad. La velocidad al final de la carrera debe ser lo más elevada posible y adaptada a las posibilidades, condicionales y/o técnicas, individuales del saltador, ya que según

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Hongfei, H., "Approches et envolées rapides. La technique de Zhu Jianhua", *AEFA*, France, núm. 101, 1987, pp. 59-62.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Conrad, A, y W. Ritzdorf, "High jump", *New Studies in Athletics*, London, 1986, vol. 1, núm. 4, pp. 33-51. [Se trata de un informe ciéntífico del I Campeonato del Mundo Junior en Atenas, 1986.]

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Dapena, J., R.M. Angulo-Kinzler, J.M., Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A. Prat, *Track and Field: High Jump (Men)*, 1993, p.3. [Se trata de un informe encargado por el Comité Olímpico Internacional, a propósito de los Juegos Olímpicos de 1992, celebrados en Barcelona.] Véase así mismo el documento referido a la categoría mujeres y otras aportaciones al tema por los mismos autores, en *Track and Field: High Jump (Women)*", 1993, p. 3.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Dapena, J., R.E. Vaughn y G.Lewis Johnston, *High Jump (Men)*, 1993, p.3. [Se trata de un informe científico del campeonato USATF.]

Dapena<sup>16</sup> existe una relación óptima entre la velocidad y la altura del C.M. al inicio de la batida. Primakov *et alii* <sup>17</sup> señala que la *velocidad media* de la carrera (valorada a partir de la dinámica de la velocidad de los apoyos<sup>18</sup> y no de la velocidad del C.M. de la carrera) tiene una buena correlación con el resultado deportivo (r = 0.679), aunque disminuye a medida que el atleta se acerca al punto de batida. Así, para los tres últimos pasos, en treinta y seis saltadores de la antigua Unión Soviética de diferente nivel, fue de r = 0.593 y de r = 0.428 cuando se hace referencia a la relación con el último paso. Este valor aumenta cuando la comparación se hace entre la velocidad del C.M. y el rendimiento final del salto.

Los mismos autores<sup>19</sup> señalan que los atletas de alto nivel aumentan su velocidad hasta el penúltimo paso de la carrera. Precisamente es al final de la misma donde tienen lugar los cambios en la longitud y el ritmo de las zancadas con el objetivo de preparar la batida. Veldmann<sup>20</sup> apunta que la transición que se produce durante el antepenúltimo y penúltimo paso ha de ser activa y libre de interrupciones para permitir la conservación de la velocidad horizontal. En contra de lo que se estaba observando en los últimos años, la rodilla de la pierna libre en el penúltimo contacto sí se ha de estirar completamente y además, debe ser estrictamente sobre el metatarso, lo que entiende este autor, como una alta actividad hacia el último paso.

Como es natural, se podría suponer que los mejores saltadores utilizan mayores velocidades en sus carreras, pero esta premisa no es la única que garantiza el éxito en el salto, ya que, en ocasiones, algunos atletas desarrollan velocidades de impulso a la batida excesivas que luego no son capaces de controlar, y como contrapartida, el resultado final no responderá a las expectativas que cabía esperar.

Por lo general, la velocidad a lo largo de la carrera de impulso aumenta progresivamente durante la misma, y más concretamente hasta el penúltimo paso,

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> *Ibídem*, p. 5.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Primakov, IN., I.V.Lazarev, V.G. Konestiapin, "Salto de altura", [Material didáctico para estudiantes y oyentes de la Facultad de Capacitación Profesional del Instituto Central de Educación Física Orden de Lenin], traducción de D. Álvarez y M. Vélez, Moscú, 1986, p.13.

Esto quiere decir que la velocidad de la dinámica de los apoyos es igual a longitud del paso partido por la suma del tiempo de contacto y del tiempo de apoyo.
 Primakov, I.N., I.V. Lazarev, V.G. Konestiapin, cit., p. 11.

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Veldmann, B., "Ein Technik-Hochsprung-Model (Flop/Männer)", Die Lehre der Leichathletik, 15-16, 1989, pp. 496.

momento donde tiene lugar el cambio de ritmo de la carrera para preparar la ejecución de la batida. En este instante se puede producir cierta pérdida de velocidad, que en cualquier caso, el saltador intentaría que fuera lo más pequeña posible, rasgo que sólo se observa entre los saltadores de mayor nivel. No obstante, otros saltadores en menor cuantía son capaces de seguir aumentando la velocidad hasta el momento de la batida, comportamiento que deberíamos considerar como ideal desde el punto de vista teórico.

Según Primakov *et alii* <sup>21</sup> el aumento de la velocidad en los últimos pasos de la carrera hasta alcanzar el penúltimo entre los atletas de alto nivel de la extinta Unión Soviética, por ellos estudiados, es de aproximadamente 1.5 m.s<sup>-1</sup>, mientras que los valores observados entre los saltadores principiantes son de sólo 0.24-0.40 m.s<sup>-1</sup>. Los mismos autores indican que en el último paso la velocidad tiende a disminuir entre 0.2-0.4 m.s<sup>-1</sup>. Por otra parte, Dapena *et alii*<sup>22</sup> comprobaron que había menores cambios de velocidad en el último paso. En el estudio realizado durante el Campeonato del Mundo de Pista Cubierta celebrado en Indianápolis en el año 1987, las saltadoras analizadas presentan una pérdida de 0.03 m.s<sup>-1</sup> en los dos últimos pasos, mientras que durante los Juegos Olímpicos de Barcelona-92 observaron ganancias de 0.18 m.s<sup>-1</sup> en otras saltadoras.

Por su parte, Ritzdorf y Conrad<sup>23</sup> también encuentran mejoras en la velocidad de los dos últimos pasos de la carrera (+0.23 m.s<sup>-1</sup>) entre las participantes en el Campeonato del Mundo celebrado en la ciudad de Roma-1987. Sin embargo, estos mismos investigadores<sup>24</sup>, después de analizar los rangos de velocidad de las saltadoras que participaron en la final de Juegos Olímpicos de Seúl-1988, encuentran una moderada tendencia a reducir (-0.11 m.s<sup>-1</sup>) su velocidad horizontal en la última zancada, aunque en el caso de los varones que participaron en la misma competición sólo se

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Ibidem p.11.

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Dapena, J. R.M. Angulo-Kinzler, J.M. Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A.Prat, "Track and Field: High Jump (Women)", cit., p. 259. Véase también Dapena, J., "Biomechanical analysis of the Fosbury Flop", Track Technique, California, núm. 104, 1988, pp. 3310.

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Ritzdorf, W., y A. Conrad, *Biomechanical analysis of the high jump*, Brüggemann, P., y Susanka, P., (Eds.), I.A.A.F., London, 1988, pp. 39. [Se trata de un informe científico sobre el II Campeonato del Mundo de Atletismo, celebrado en Roma, en 1987].

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Conrad, A. y W. Ritzdorf, *Biomechanical analysis of the High jump*, Brüggemann, G.P. y Glad, B. (eds.), I.A.A.F., London, 1990, p. 200. [Se trata de un informe científico sobre la XXIV Juegos Olímpicos, Seúl-1988.]

observó una pérdida de -0.01 m.s<sup>-1</sup>, valor muy similar al que encontró Dapena para saltadores masculinos en la competición de Indianápolis.

Dada su importancia, la velocidad de ejecución de los últimos pasos de la carrera se convierte en un buen indicador técnico para este momento del salto que sirve para preparar la batida. Los índices más empleados por los especialistas para valorar estos cambios en la carrera son la diferencia de velocidad entre el penúltimo y último apoyo y entre los últimos apoyos de la carrera con respecto al último apoyo. En nuestro caso, utilizamos la diferencia entre: a) la velocidad del penúltimo y el último apoyo y b) la del sexto apoyo anterior a la batida y el último apoyo.

Estas alteraciones en la velocidad de carrera se acompañan de modificaciones en los aspectos que la determinan: la frecuencia de las zancadas, el tiempo de contacto de cada apoyo y el tiempo de vuelo entre dos apoyos. Normalmente, la dinámica que presentan los especialistas de esta modalidad atlética responde a un incremento progresivo de la frecuencia de paso, una disminución del tiempo de vuelo y una estabilización o ligero incremento del tiempo que duran los apoyos. Véase en la gráfica siguiente estas variables en un salto del récord del mundo de Javier Sotomayor durante su participación en la V Copa del Mundo de 1989 celebrada en Barcelona (Vélez<sup>25</sup>).

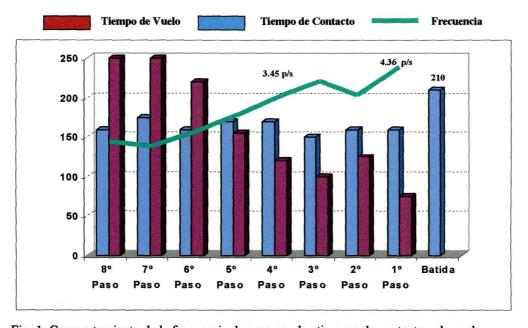


Fig. 1. Comportamiento de la frecuencia de paso con los tiempos de contacto y de vuelo.

Siempre que la velocidad se incremente al final de la carrera o las pérdidas que se puedan producir sean mínimas, estaremos en condiciones de decir que el ritmo de velocidad utilizado por el saltador es bueno. No obstante, este único parámetro no es suficiente para evaluar de forma global el salto, debiendo plantearnos otros criterios que nos aseguren un análisis más exacto.

Además del potencial del saltador para soportar durante la batida una elevada velocidad de carrera, sería interesante conjugar los dos índices de la velocidad utilizados en nuestro estudio. Un saltador que pasara por el sexto apoyo de carrera con una baja velocidad podría aumentarla significativamente durante los siguientes apoyos y no por ello terminar con la más adecuada para sus características. El motivo de ello puede ser debido a la alteración de aspectos como el ritmo de carrera, la organización de la batida, o la reactividad de los apoyos y de esa manera repercutir en el resultado final del salto. Por el contrario, entrar muy rápido no permitiría una mejora importante de la velocidad al final de la carrera, pero si la que logra es la adecuada posiblemente obtenga un buen resultado.

En este sentido, hay saltadores que pierden velocidad durante la realización del penúltimo apoyo en busca de una óptima preparación de la batida. En estos practicantes, este tipo de reajustes se efectúan para llevar a cabo las acciones propias del transito entre estos dos pasos. Sin embargo, también podría ser interpretado como un error técnico que normalmente suele tener su origen en la forma en que se realice el antepenúltimo apoyo de la carrera. Un apoyo poco activo sin la extensión enérgica del tobillo provocará una caída de la velocidad con la que se desplaza el C.M. En ocasiones, algunos entrenadores buscan que sus atletas amplíen la longitud de este paso (penúltimo), olvidando que los apoyos deben seguir siendo activos y con un empuje real sobre el suelo, lo que evitaría que el saltador quitara los apoyos de forma ficticia perdiendo actividad y dinamismo; en atletas principiantes, la intención de aumentar la frecuencia final les lleva a confundir la "brevedad" del tiempo de apoyo con la rapidez de desplazamiento.

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Cfr. López, F., "Salto de altura" en, VV.AA., Informe técnico de la V Copa del Mundo de Barcelona, ENE, Madrid, 1989, p. 40.

En una buena carrera de impulso lo deseable es que la velocidad aumente progresivamente hasta los últimos apoyos (especialmente, penúltimo y batida). La mayor parte de los entrenadores enseñan y entrenan a sus deportistas para que lleguen a la máxima velocidad justo en el momento de llegar al punto de batida, pero la experiencia y los datos que se encuentran en los estudios biomecánicos realizados sobre esta especialidad nos demuestran que esto no es así. En la práctica nos encontramos con una gran cantidad de saltos realizados por atletas de alto nivel en los que la máxima velocidad la consiguen en el penúltimo paso, tal y como queda reflejado en la tabla siguiente. Los valores de veintinueve saltos estudiados proporcionan que el saltador va más rápido en la ejecución del penúltimo paso que en la del último.

Nombre Atleta	Velocidad Penúltimo	Velocidad Último	Competición	Año	H-listón
Avdyenko	8.1 m.s <sup>-1</sup>	7.8 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.38
Avdyenko	7.9 m.s <sup>-1</sup>	7.8 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	2.38
Avdyenko	8.4 m.s <sup>-1</sup>	7.8 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo A.L.	1987	2.38
Barton	7.7 m.s <sup>-1</sup>	6.6 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.25
Conway	7.5 m.s <sup>-1</sup>	7.2 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	2.34
Conway	7.5 m.s <sup>-1</sup>	7.2 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	2.32
Conway	7.7 m.s <sup>-1</sup>	7.4 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.31
Dalhauser	7.6 m.s <sup>-1</sup>	7.7 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.32
Forsyth	7.2 m.s <sup>-1</sup>	7.1 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	2.34
Holder	7.8 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.22
Jenkins	7.9 m.s <sup>-1</sup>	7.3 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.22
Matei	8.0 m.s <sup>-1</sup>	7,7 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	2.24
Matei	7.8 m.s <sup>-1</sup>	7.1 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.32
Mógenburg	7.6 m.s <sup>-1</sup>	7.5 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	2.34
Morris	7.2 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.19
Paklin	8.0 m.s <sup>-1</sup>	7.6 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.38
Paklin	8.3 m.s <sup>-1</sup>	8.0 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	2.34

Paklin	8.5 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo A.L.	1987	2.38
Partika	7.7 m.s <sup>-1</sup>	7.3 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	2.34
Povarnitsyn	7.9 m.s <sup>-1</sup>	7.8 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	2.31
Rogers	8.0 m.s <sup>-1</sup>	7.6 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.19
Saunders	7.6 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo A.L.	1987	2.32
Smith	7.4 m.s <sup>-1</sup>	7.2 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.12
Sotomayor	8.5 m.s <sup>-1</sup>	8.3 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.34
Stanton	7.3 m.s <sup>-1</sup>	7.2 m.s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.19
Stones	7.0 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.34
Thranhardt	7.3 m.s <sup>-1</sup>	7.1 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo A.L.	1987	2.29
Wright	7.5 m.s <sup>-1</sup>	6.8 m,s <sup>-1</sup>	Ctos. Americanos	1993	2.22
Zvara	6. m.s <sup>-1</sup>	6.5 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.34

Tabla - 1. Velocidad horizontal del penúltimo y último paso de carrera.

Es interesante observar cómo este comportamiento se repite en los saltos encontrados (tres por cada uno de ellos) en dos de los mejores saltadores de todos los tiempos, Avdeyenko y Paklin, ambos con marcas superiores a los 2.38 metros. También debemos destacar que a este grupo pertenecen los saltos medidos entre los finalistas de los Campeonatos Mundiales de 1987 (Roma) y los finalistas de los Juegos Olímpicos de 1988 (Seúl).

Sin embargo, con motivo del Campeonato de Europa de Sttutgart-86<sup>26</sup>, el ganador, Paklin, aumentó su velocidad en su último apoyo en 0.21 m/s mientras los tres restantes competidores estudiados disminuyeron la misma. Véase en el cuadro el desarrollo de la velocidad en los tres últimos apoyos:

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Dragan, T., "Biomecánica de la técnica moderna del salto de altura", *Internacional Track and field Coaches Congress*, Argentina, 1986.

Atleta	Marca	Antepenúltimo paso	Penúltimo paso	Último paso
	( <b>m</b> )	(ms)	(ms)	(ms)
Paklin	2.34		7.67	7.88
Matschenko	2.31	7.18	7.17	6.53
Thránhardt	2.28	7.52	7.62	7.35
Mögenburg	2.28	8.06	8.31	7.92

Tabla – 2. Velocidad de los tres últimos apoyos.

Ahondando más en el tema, advertimos en el caso de las mujeres el mismo comportamiento técnico. Como es lógico, algunas de las saltadoras de más prestigio en esta especialidad, como son Kostadinova, Bykova, Hénkel o Costa, aparecen citadas en más de una ocasión en el siguiente cuadro.

Nombre Atleta	Velocidad Penúltimo	Velocidad Último	Competición	Año	H-listón
Astafei	6.8 m.s <sup>-1</sup>	6.6 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	1.93
Bykova	6.5 m.s <sup>-1</sup>	6.4 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	1.96
Bykova	7.1 m.s <sup>-1</sup>	6.8 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo A.L.	1987	2.04
Bykova	6.5 m.s <sup>-1</sup>	6.1 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	1.94
Costa	6.9 m.s <sup>-1</sup>	6.6 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.94
Gotovska	6.8 m.s <sup>-1</sup>	6.6 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.83
Henkel	7.3 m.s <sup>-1</sup>	7.0 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.91
Henkel	7.4 m.s <sup>-1</sup>	7.2 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	2.02
Hughes	7.2 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.88
Huntley	7.0 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	1.89
Inverarity	6.9 m.s <sup>-1</sup>	7.0 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.91
Kähler	7.1 m.s <sup>-1</sup>	7.0 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.83
Kirchmann	7.1 m.s <sup>-1</sup>	6.8 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.94
Kostadinova	7.5 m.s <sup>-1</sup>	7.2 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	2.05
Kostadinova	7.7 m.s <sup>-1</sup>	7.6 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	2.01
Kostadinova	7.8 m.s <sup>-1</sup>	7.5 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo A.L.	1987	2.09
Marti	6.9 m.s <sup>-1</sup>	6.8 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.91

Quintero	7.2 m.s <sup>-1</sup>	6.6 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.97
Ritter	7.1 m.s <sup>-1</sup>	6.7 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	1.90
Ritter	7.2 m.s <sup>-1</sup>	6.9 m.s <sup>-1</sup>	Cto. Mundo P.C.	1987	
Shevchik	6.5 m.s <sup>-1</sup>	6.4 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Barcelona	1992	1.83
Staton	6.9 m.s <sup>-1</sup>	6.6 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	1.90
Turchak	6.9 m.s <sup>-1</sup>	6.6 m.s <sup>-1</sup>	JJ.OO. Seúl	1988	1.96

Tabla -3. Velocidad horizontal del penúltimo y último paso de carrera.

No está claro cuáles son las causas de esta distribución del ritmo, ni tampoco si responden a un error. Por el contrario, se podría pensar que indica una ejecución correcta de esta fase del salto, especialmente cuando observamos que así la realiza la mayoría de los mejores saltadores/as mundiales.

Con respecto al asunto que nos ocupa, hemos citado con anterioridad un estudio de Primakov et alii 27 en que correlaciona la velocidad media de carrera con el resultado deportivo (r = 0.679), aunque este valor disminuye a medida que el atleta se acerca al punto de batida, de tal forma que r = 0.593 corresponde a los tres últimos apoyos y r = 0.428 para el último apoyo. La muestra internacional extraída de la bibliografía especializada nos muestra una correlación entre la velocidad del último apoyo y el resultado deportivo inferior, (r = 0.27, para hombres y, r = 0.41, para mujeres).

Bothmischel<sup>28</sup>, a partir de esta circunstancia, señala que existen dos grupos claramente diferenciados de saltadores. Por un lado estarían aquellos que efectúan la penúltima zancada sin perder la velocidad que traían en la carrera, para después disminuirla en el momento de entrar a la batida, mientras que el otro grupo estaría formado por saltadores que emplean la penúltima zancada para acelerar aún más la carrera y alcanzar la mayor velocidad en el momento de la batida.

<sup>28</sup>Bothmischel. V., art. cit., p. 4.

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> Nos referimos a Primakov, I.N., I.V. Lazarev, y V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art.cit., p.13.

No obstante, Tancic<sup>29</sup> señala que la disminución de la velocidad durante el último paso varía de un tipo de saltador a otro. Distingue que la menor pérdida le atañe a los que realizan el *fosbury flop-*, o flop de velocidad, y que dicha pérdida supone 0.3 a 0.4 m.s<sup>-1</sup>, mientras que para los saltadores que ejecutan el conocido como *fosbury flop-2* o flop de fuerza y los que emplean el rodillo ventral, la misma es de 0.4 a 0.6 m.s<sup>-1</sup>. Las causas para que haya la mínima disminución se deben a varios motivos:

- El hecho de que este tipo de *fosbury-flop* utiliza el metatarso durante toda la carrera;
- Los brazos trabajan por el sistema alternativo;
- La fase de amortiguación en la rodilla es relativamente pequeña en la transición a la batida y
- El tronco y la pierna de salto en dicha fase no presentan demasiada inclinación atrás.

De este modo, los saltadores de *fosbury-flop-2* que buscan minimizar la pérdida de velocidad en el último apoyo, deberán tener en cuenta si procede:

- Prolongar su carrera de 8 a 11 pasos;
- Realizar una carrera con velocidad creciente:
- Aumentar la frecuencia de paso al final de la carrera;
- Correr de metatarso desde el principio hasta el final de la carrera;
- Menor amortiguación de la rodilla en el penúltimo apoyo;
- Ejercer un movimiento de tijeras de la pierna de impulso desde arribaabajo y atrás;
- Un movimiento circular de doble brazo reducido, tanto en la preparación como en la batida, ejecutados de forma rápida y elevando los hombros, y
- Un movimiento hacia delante de las caderas en los últimos pasos de la carrera.

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup>Tancic, D., "Técnicas modernas del salto de altura", en *Altura y pértiga, Cuadernos de Atletismo*, núm.4, R.F.E.A., Madrid, 1981, pp. 19-43. [El artículo es traducción de la revista *Die Lehre der Leichathletik*, núms. 23-26, (mayo a junio de 1978).]

#### LONGITUD DE LOS APOYOS DE CARRERA

Es generalmente aceptado que una vez finalizada la fase de puesta en marcha y la de progresión de la carrera de impulso, que normalmente corresponde a la fase en recta de las carreras en forma de J, los saltadores tienden a mantener al principio, y a disminuir ligeramente al final, la longitud de los pasos hasta la ejecución de la batida. Sin embargo, la idea que se debe transmitir al atleta es la de que al entrar en la curva, y dado que tenemos que acelerar de forma continua, esta ganancia de velocidad se debe conseguir a partir de un incremento de la frecuencia sin disminuir la amplitud entre los apoyos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, Dapena<sup>30</sup> et alii señalan que en la primera parte de la carrera cada zancada debe ser un poco mayor y más rápida que la anterior. Sin embargo, Primakov et alii <sup>31</sup> encuentran que entre las mujeres la longitud de las zancadas no aumenta sino que disminuye (excepto en el cuarto apoyo que coincide con el inicio de la curva). Bothmischel<sup>32</sup> por su parte señala que la longitud de las zancadas en la carrera de impulso del salto de altura, especialmente en la última parte de la misma (curva), "está fuertemente influida por las diferentes variaciones de la acción de la batida". Este entrenador opina que los cambios estructurales en la mecánica para la preparación y ejecución de la batida son más pronunciados en los saltadores donde predomine la amplitud del movimiento de los segmentos libres (doble balanceo de brazos, amplio péndulo de la pierna libre, etc.) que aquellos otros con movimientos de menor amplitud.

También en lo que se refiere a la longitud del penúltimo y último apoyo existe cierta contradicción entre los planteamientos teóricos que realizan los entrenadores y la realidad observada en algunos saltadores de nivel internacional. Unos afirman que el penúltimo paso debe ser ligeramente más largo que los demás, lo que hace que esta zancada sea mayor que la antepenúltima y claramente superior a la última. Sin embargo, otros técnicos señalan que no deben existir diferencias claras en la longitud del

<sup>3f</sup> Primakov, I.N., I.V. Lazarev, V.G. Konestiapin, art cit., p.11.

32 Bothmischel, V. E., art. cit., p. 4.

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> Dapena, J., R.M. Angulo-Kinzler, J.M. Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A. Prat, opus cit., p.3.

penúltimo y último paso de la carrera. Conrad y Ritzdorf <sup>33</sup> señalan que a la luz de sus estudios realizados con los participantes de los Juegos Olímpicos de Seúl-1988 y el Campeonato del Mundo de Roma-1987, existe una interesante tendencia en su carrera de impulso que se opone al planteamiento teórico que plantea alargar el penúltimo paso y acortar el último. Ellos encuentran que algunas saltadoras (Issaeva\*, Ritter\*,\*\*, Kostadinova\*,\*\*, Stanton\*\*)<sup>34</sup> acortan el penúltimo apoyo respecto al último, mientras que en los chicos sólo lo hacen Thränhardt en los CM-Roma, y Mögenburg durante la competición de Seúl. Los mismos autores señalan que los saltadores que disminuyen significativamente la última zancada lo hacen a costa de un menor tiempo de vuelo y una mayor actividad al colocar el pie de batida mucho antes de lo esperado.

Al analizar estas dos competiciones de alto nivel observamos que de quince competidoras, siete aumentan la longitud en el último paso [con 0.33 centímetros (SD: ± 0.39 centímetros)] y ocho lo acortan [con 0.36 centímetros (± 0.21 centímetros)]. No hay que pasar por alto el caso de Ritter que distorsiona los valores. Esta atleta utiliza dos modos de ritmo que le llevan a obtener una clasificación de finalista muy dispar, tal y como se aprecia en la tabla correspondiente. Ahora bien, teniendo en cuenta los informes técnicos publicados, el comportamiento que se aproxima al 100% de la estatura del saltador/a debe ser lo más correcto, independientemente de si se alarga o se disminuye la última zancada.

Véase en la tabla correspondiente los valores que presentan tres saltadoras de gran proyección internacional que coincidieron en ambas competiciones. La búlgara Stefka Kostadinova, que se clasificó en segundo lugar en Seúl sólo pudo saltar 2.01 metros; su última zancada fue 10 centímetros mayor que la anterior, mientras que en Roma, donde batió el todavía vigente Récord del Mundo de la especialidad (2.09 metros), la aumentó en 25 centímetros. Ritter consigue en Seúl el primer puesto con un salto de 2.03 metros, donde marcó una diferencia del penúltimo con respecto al último apoyo de sólo 9 centímetros; Sin embargo, alargó de forma anormal con nada menos que 1.18 metros, en Roma.

<sup>&</sup>lt;sup>33</sup> Conrad, A. y Ritzdorf, W., *Biomechanical análisis of the high jump, opus.. cit.*, p. 196. <sup>34</sup> \*Campeonato del Mundo de Roma-1987; \*\* Juegos Olímpicos de Seúl-1988

En resumen, vemos que entre las mujeres no hay una tendencia tan clara como se afirmó inicialmente por parte de estos autores, aunque parece ser que la balanza o preferencia de las féminas se inclina por aumentar la última zancada ligeramente con respecto a la penúltima.

Atletas y su puesto en el podium		Batida (m)	%	Penúltimo (m)	%	
Bykova	Seúl (3ª)	1.69	94	2.00	112	
	Roma (2ª)	1.61	90	2.07	116	
Kosadinova	Seúl (2ª)	2.01	111	1.91	106	
	Roma (1 <sup>a</sup> )	2.01	111	1.76	97	
Ritter Sea	Seúl (1ª)	2.03	114	1.94	109	
	Roma (8 <sup>a</sup> )	2.45	137	1.27	71.3	
Roma (n = 8)		$1.81 \pm 0.29$	101	$1.77 \pm 0.35$	99	

Tabla -4. Longitud de los dos últimos pasos.

Durante los Campeonatos Europeos de Atenas de 1982, U. Meyfarth fue examinada en sus intentos válidos sobre las alturas de 1.91, 1.94 y 1.97 metros. Se comprobó que algunas atletas, como ocurre en este caso, suelen ampliar el último paso sin por ello dejar de realizar un salto eficaz (Dapena)<sup>35</sup>.

Batida (m)	%	Penúltimo (m)	%	Antepenúlt. (m)	%	4° ant. (m)	%
1.49	79	1.68	89	1.68	89	1.68	89
1.39	74	1.58	84	1.58	84	1.78	94
1.39	74	1.58	84	1.49	79	1.67	88
1.39	74	1.68	89	1.58	84	1.78	94
	(m) 1.49 1.39 1.39	(m) % 1.49 79 1.39 74 1.39 74	(m)     %       1.49     79     1.68       1.39     74     1.58       1.39     74     1.58	(m)     %     (m)       1.49     79     1.68     89       1.39     74     1.58     84       1.39     74     1.58     84	(m)     %     (m)     %       1.49     79     1.68     89     1.68       1.39     74     1.58     84     1.58       1.39     74     1.58     84     1.49	(m)     %     (m)       1.49     79     1.68     89     1.68     89       1.39     74     1.58     84     1.58     84       1.39     74     1.58     84     1.49     79	(m)         (m)         (m)         (m)           1.49         79         1.68         89         1.68         89         1.68           1.39         74         1.58         84         1.58         84         1.78           1.39         74         1.58         84         1.49         79         1.67

Tabla -5. Longitud de los últimos pasos de U. Meyfarth.

Además, podemos añadir que la media del último apoyo en cuarenta y siete saltos publicados, muestran un promedio de sólo un centímetro menos para el último apoyo (1.85 metros;  $\pm$  0.15), mientras que si la media la calculamos con las saltadoras

que se les ha medido ambos apoyos, ésta se iguala (1.86 metros  $\pm$  0.21 en el último paso  $\nu s$ . 1.86 metros  $\pm$  0.26 para el penúltimo paso).

Al analizar la estructura de las zancadas de tres grandes saltadores a los largo de tres grandes eventos internacionales de máximo nivel, observamos que la longitud de la zancada de I. Paklin es la más constante: disminuye en las tres competiciones. Tränhardt la aumenta en Roma (diecisiete centímetros en un salto de 2.29 metros), mientras que la disminuye ligeramente en las otras dos competiciones donde salta 2.34 metros en Seúl y en Sttutgart, 2.31 metros. Mögenburg la aumenta en Seúl (veinticuatro centímetros en un salto sobre 2.34 metros) mientras que en Roma disminuye (cuarenta y seis centímetros en un salto nulo de 2.38 metros) aunque salta finalmente 2.35 metros, y en Sttutgart la disminuye (10 centímetros sobre un salto de 2.28 metros), por lo que su patrón de zancada se evidencia como la menos constante.

	STTUTGART – 1986			ROMA – 1987				SEÚL – 1988				
	Penú	ltimo	Penú	ltimo	Penú	ltimo	Últi	imo	Penú	ltimo	Últi	imo
	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)
Thränhardt	2.07	103	2.08	104	2.00	100	2.17	108	2.19	109	2.14	107
Paklin	2.19	114	2.12	110	2.44	127	2.18	113	2.43	113	2.12	110
Mögenburg	2.17	107	2.07	103	2.49	123	2.03	101	1.96	97.5	2.20	109
Media	2.14	108	2.09	105	2.31	116	2.12	107	2.19	106	2.15	108

Tabla - 6. Longitudes de los dos últimos apoyos.

Por consiguiente, a priori, todo parece indicar que los varones saltan mejor disminuyendo su última zancada; Sin embargo, no podríamos afirmar que es una manifestación muy clara sino que es la tendencia más común entre los saltadores masculinos. La media del penúltimo apoyo de los 15 saltadores encontrados es de 2.28 metros (SD: ± 0.19) mientras que la media en su último apoyo es de 2.08 metros (SD: ± 0.13) y, en sesenta y un saltos encontrados también la media del último paso fue de 2.08 metros (SD: ± 0.14). En cuanto a las mujeres, se aprecia que un 50 % disminuye y el

<sup>35</sup> Dapena, J., art. cit.

© Del documento, los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2006

otro 50% aumenta su zancada. Dapena señaló que la disminución del último paso es inevitable aunque debe reducirse al mínimo<sup>36</sup>.

FRECUENCIA DE ZANCADA EN LA CARRERA DE IMPULSO

Los técnicos especializados en el salto de altura dan una gran importancia a la frecuencia de los últimos pasos a la hora de evaluar la técnica de un saltador. Incluso hay quién lo considera como un índice integral de la técnica. Sin embargo, Primakov *et alii*  $^{37}$  no encuentran ninguna relación entre esta variable y el nivel del deportista o su capacidad de salto. Tampoco la muestra internacional utilizada en nuestro análisis comparativo se encontró correlación alguna entre la frecuencia del último paso y el resultado deportivo (r = 0.01 mujeres y r = 0.04 hombres). A su vez, Jazanovich señala que la relación varía a lo largo de la temporada. Encuentra una elevada correlación (r = 0.92) durante el período en la que se realizan las competiciones principales, mientras que durante la etapa de desarrollo de la forma encuentra una correlación elevada (r = 0.57) y durante el segundo período competitivo valores similares (r = 0.53).

Habitualmente se produce un aumento de la frecuencia de paso durante la carrera de impulso al listón, en las dos variantes del *fosbury-flop*, a partir de que se inicia la carrera en curva. Este comportamiento se produce junto a un crecimiento paralelo de la velocidad de impulso. Según Tancic<sup>39</sup>, en el caso del *flop-1* son varios los elementos que conducen a esta situación, entre los que podemos destacar los siguientes:

- Mayor actividad de la pierna (pie) en la fase de apoyo;
- Zancada rasante y rápida de la pierna de batida próxima a la proyección del C.M.;
- Apoyos de metatarso en cada contacto del pie en el suelo;
- Menor flexión de la rodilla de la pierna de apoyo durante la amortiguación, y
- Movimientos alternos de brazos en los últimos pasos de carrera.

<sup>&</sup>lt;sup>36</sup> Tal afirmación se encuentra en Primakov, I.N., I.V. Lazarev, V.G., Konestiapin, art. cit. p. 12.

<sup>&</sup>lt;sup>37</sup> *Ibídem,* p. 13.

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> *Ibídem*, p. 17.

<sup>39</sup> Tancic, D., art. cit., p. 26.

Según Strizjak<sup>40</sup>, en los mejores atletas varones, la frecuencia del último paso alcanza valores de 4.8 a 5 pasos por segundo. Las mujeres cuando abordan la parte curva de la carrera aumentan de 1.0 a 1.2 pasos /segundo en relación con el cuarto paso anterior a la batida en donde logran 5.0 a 5.5 pasos por segundo. Hubiche y Pradet<sup>41</sup> asegura que la situación provocada por la fuerza centrífuga a la que el saltador tiende a resistirse, conlleva al aumento de la frecuencia de los apoyos para evitar ser expulsado hacia el exterior de la curva.

Como se sabe, la velocidad de carrera se determina por el producto de la amplitud por la frecuencia, por eso sin duda, estos dos factores influyen directamente en el comportamiento de este parámetro. Metodológicamente, la frecuencia se puede subdividir en tiempo de contacto y tiempo de vuelo. Ambos parámetros presentan una conducta similar en la fase final de la carrera de impulso. A medida que nos acercamos al punto de batida, normalmente disminuye la duración de los periodos de vuelo y de apoyo.

Los estudios llevados a cabo hasta ahora muestran una tendencia general a reducir los tiempos de vuelo en las últimas zancadas de la carrera. Ello implica más actividad en la carrera con mínima pérdida de velocidad durante la misma. Conforme el saltador avanza en su recorrido también los tiempos de apoyo son más activos, disminuyendo su duración siempre que no se comprometa la aplicación del impulso y reduciendo el tiempo de vuelo. Esto significa un aumento de la frecuencia y una ligera disminución en la amplitud.

El gráfico siguiente muestra la duración de las fases de la frecuencia de tres saltadores y tres saltadoras que tomaron parte en la final de los Juegos Olímpicos de Seúl en el año 1988. Véase como todos los atletas acortan claramente su tiempo de vuelo en el último paso de la carrera.

<sup>&</sup>lt;sup>40</sup> Strizjak, A.P., Alexandrov, O. I., Sidorenko, C.P., Petrov, B. A., *Saltos atléticos*, Ed. Esdarovia, Kiev, traducción de D. Alvarez y M. Vélez, 1989, p. 5.

<sup>&</sup>lt;sup>41</sup> Hubiche, J.L. y Pradet, M., Comprender el Atletismo, Inde, Barcelona, 1999, p. 192.

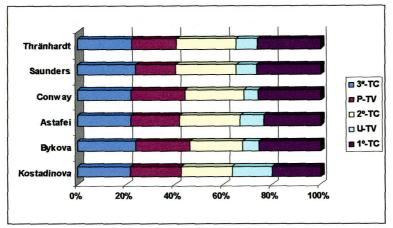


Fig. 2. Comportamiento del tiempo de contacto y del tiempo de vuelo.

Según Challis y Yeadon<sup>42</sup>, los tiempos de apoyo en la técnica de rodillo ventral son más largos que las fases de vuelo. En sus trabajos comprobaron que la duración de los apoyos eran iguales o mayores que el 70% de la duración total de la zancada, que llegan incluso a superar el 80% en algunas ocasiones. Algo similar se da en la técnica fosbury-flop, aunque con proporciones más bajas en la duración de las fases de contacto (ver gráfica de Sotomayor en la figura - 1). Estos valores contrastan claramente con lo que sucede durante una carrera de velocidad, donde el tiempo de apoyo de la fase de aceleración está entre el 60-70% del tiempo total de la zancada, bajando al 40% o menos en el momento en el que alcanza la máxima velocidad de carrera.

La disminución del tiempo de vuelo es especialmente evidente durante la ejecución del último paso, el cual, como vimos, se suele acortar significativamente en comparación con el anterior. En los saltadores cualificados el tiempo de vuelo del último apoyo suele tener de media una duración de 0.061 segundos y en el penúltimo paso casi el doble, 0.104 segundos, siendo estos valores algo mayores entre los saltadores menos cualificados (0.080 y 0.106 segundos respectivamente).

En el siguiente cuadro se pueden observar las frecuencias y los tiempos de contacto y de vuelo de tres finalistas masculinos y femeninos durante los Juegos Olímpicos de Seúl.

<sup>&</sup>lt;sup>42</sup> Challis, S. y F. Yeadon, "A biomechanical analysis of the woman's high jump", *Athletic Coach*, England, vol. 26, núm. 2, 1992, pp. 20-25.

Atleta	3ª-TC	P-TV	2º-TC	U-TV	1º-TC	Fc-P	Fc-U
Kostadinova	0.125	0.120	0.120	0.095	0.115	4.08	4.65
Bykova	0.160	0.150	0.145	0.045	0.170	3.22	5.26
Astafei	0.150	0.135	0.170	0.065	0.160	3.51	4.25
Conway	0.150	0.150	0.165	0.040	0.175	3.33	4.88
Saunders	0.145	0.100	0.150	0.050	0.160	4.08	5.00
Thränhardt	0.150	0.125	0.165	0.060	0.175	3.63	4.44

Tabla – 7. Frecuencia de paso, tiempo de vuelo y tiempo de apoyo.

La frecuencia viene determinada fundamentalmente por aspectos neuromusculares y condicionales que afectan a la velocidad con que se contrae la musculatura de la pierna de impulso, a la velocidad a la que se recupera la pierna libre, a la actividad con la que se busca el siguiente apoyo, y a la posición de contacto del pie en relación a la vertical del centro de gravedad (la distancia entre el trocánter y el apoyo). En la práctica, el entrenador tiene mayor dificultad a la hora de influir sobre esta variable. El motivo es que la misma tiene condicionantes genéticos muy elevados y que viene directamente determinada por una serie de aspectos como la regulación y control de movimientos por parte del sistema nervioso central.

La amplitud del paso es la distancia existente entre dos apoyos sucesivos, estando directamente relacionada con la capacidad condicional fuerza, con aspectos antropométricos (como longitud del miembro inferior) y con aspectos técnicos referidos a la forma con que se realizan los movimientos de las piernas. La poderosa extensión de la pierna de impulso y la elevación de la rodilla de la pierna libre también son factores que afectan en cierta medida en la correcta amplitud de paso que debe mantener el saltador en su impulso al listón. Este parámetro es más estable que la frecuencia y también más influenciable a través del entrenamiento.

La relación amplitud de zancada / frecuencia de paso es, por lo tanto, un factor diferenciador entre dos atletas, siendo un parámetro de referencia para evaluar el nivel técnico de los mismos. Este criterio de individualidad también es aplicable a los valores que se deben dar en cada saltador para conseguir la máxima velocidad eficaz con la que debe realizar el salto. En el caso del salto de altura donde al final de la carrera debemos

ejecutar un despegue, este binomio va a mostrarse bien diferente al no buscar la máxima velocidad sino, como ya hemos comentado en este trabajo, una óptima velocidad que el atleta sea capaz de controlar antes de efectuar una batida tan especializada como es la que nos ocupa.

Para ello nos interesa conocer la dinámica de la longitud y frecuencia de los 7-12 pasos que, por regla general, suelen utilizar los atletas y muy especialmente en la parte final de la misma. Dicha información ayuda a caracterizar el ritmo de la carrera de impulso.

Con respecto a la frecuencia es normal que las carreras de los saltadores presenten mayores inestabilidades en la ejecución del primer paso dado el abanico de opciones que existen para iniciar el arranque de la carrera, y como ya hemos analizado, durante la realización de los tres últimos pasos, debido a las diferentes alternativas que los saltadores desarrollan de forma personal hasta justo antes de iniciar el despegue. Los autores insisten en que los cambios con respecto a las posiciones del cuerpo, y por ende, de las piernas, que tienen lugar durante las secuencias de movimientos, ejecutados con rapidez y de manera precisa durante la preparación de la batida, son modificaciones donde imperan las características físicas y técnicas del saltador.

Los entrenadores aceptan que la frecuencia de los pasos sea un indicador de la técnica de carrera de sus atletas. "Con el entrenamiento, la frecuencia de los pasos tiende a disminuir las oscilaciones de un paso al otro, aunque el marco general de la variación de la frecuencia de los pasos a lo largo de toda la carrera de impulso, prácticamente no varía" (Primakov *et alii*<sup>43</sup>). Sin embargo, estos autores no encontraron una relación directa entre la frecuencia de paso y el resultado deportivo, pero sí una alta correlación negativa entre los índices de la longitud media de los tres últimos pasos y la frecuencia de los mismos. La muestra internacional también mostró una alta correlación negativa en hombres de r = -0.71 y de r = -0.62 para los pasos penúltimo y último respectivamente. En mujeres, para el último paso fue de r = -0.55 y para el penúltimo paso de r = -0.68.

<sup>&</sup>lt;sup>43</sup> Primakov, I.N., I.V. Lazarev, V.G. Konestiapin, art. cit., p. 13.

En el informe del Campeonato del Mundo Junior de 1986 se hace referencia al caso de Meyfarth durante el Campeonato Europeo de 1982 con respecto al parámetro de la frecuencia de los tres últimos pasos. La atleta disminuye en el penúltimo paso con respecto al antepenúltimo para volver a aumentar en el último paso. De los cuatro saltos analizados, fue en el penúltimo paso donde más variabilidad mostró este parámetro. No obstante, fue muy regular en el antepenúltimo y último paso. Sin embargo, las cuatro mejores clasificadas del campeonato del mundo junior de 1986 no arrojan datos muy similares, puesto que todas aumentan la frecuencia durante los tres últimos pasos y además, de forma significativa en el penúltimo, aunque con bastante variabilidad. En la siguiente tabla se detallan estas particularidades que parecen indicar las preferencias individuales al tratar estos parámetros.

Frecuencia	Antepenúltimo	Penúltimo	Último
Europeo Atenas`82 (U. Meyfarth)	$3.4 \pm 0.05$	$3.19 \pm 0.15$	4.44 ± 0.10
Mundial Junior`86 (mujeres)	$3.35 \pm 0.31$	4.10 ±1.09	4.44 ± 0.12
Mundial Roma`87 (mujeres)	-	$3.88 \pm 0.54$	$4.82 \pm 0.65$
Mundial Junior`86 (hombres)	$3.4 \pm 0.14$	$3.6 \pm 0.07$	$4.08 \pm 0.40$
Europeo Stuttgart`86 (hombres)	$3.2 \pm 0.5$	$3.55 \pm 0.17$	$4.6 \pm 0.24$
Mundial Roma`87 (hombres)	-	$3.61 \pm 0.22$	$4.46 \pm 0.55$
JJOO Seúl`88 (hombres)	-	$6.74 \pm 0.43$	$4.48 \pm 0.43$

Tabla – 8. Promedios de la frecuencia de los tres últimos pasos de la carrera de impulso.

En cuanto a los varones el comportamiento de la frecuencia es más uniforme; aumentan a lo largo de las tres últimas zancadas y se observa el mayor aumento y variabilidad en el último paso.

## TRAYECTORIA QUE REALIZA EL SALTADOR PARA LOGRAR LA VELOCIDAD ÓPTIMA DE CARRERA Y FACILITAR LA COLOCACIÓN DEL CUERPO RESPECTO AL LISTÓN

Esta modalidad atlética adquiere una serie de características muy definidas y claramente diferenciadas del resto de saltos atléticos. Así, mientras en los saltos de longitud, triple, pértiga u otros estilos de salto de altura, la carrera de impulso se realiza en línea recta, en el *fosbury flop* la última parte de la carrera se corre sobre una curva, formando normalmente una trayectoria similar a una **J** o a una **parábola** cuyo arco recorrido tiene como límite el inicio de la carrera y como fin el punto de batida. Dapena *et alii* <sup>44</sup> señalan que "la trayectoria de las pisadas en la carrera de impulso de un salto de altura puede idealizarse como una línea perpendicular a la prolongación del listón, seguida por un arco circular que termina en la batida".

Paolillo<sup>45</sup> señala que esta forma peculiar de la carrera de impulso facilita al atleta colocar el cuerpo de espaldas al listón permitiendo esquivar de forma sencilla alturas cada vez más elevadas. Por su parte, Farley y González<sup>46</sup> señalan que esta forma de realizar la impulso al listón resulta beneficiosa para mejorar la tensión en los apoyos y de forma preferentemente en el que realiza la batida.

Gran parte de este comportamiento se debe a la preactivación de los músculos que se encargan de realizar correctamente la fase de amortiguación de cada uno de los apoyos que componen la parte curva de la carrera. Laffaye<sup>47</sup> destaca esta respuesta del sistema neuromuscular a la hora de controlar la eficacia del comportamiento muscular.

Esta forma de efectuar la carrera de impulso ha venido sufriendo diversas variaciones respecto a la carrera original que introdujo Dick Fosbury durante los Juegos Olímpicos de México. En esa competición, el citado deportista utilizó una carrera totalmente en curva, claramente diferente a la de la mayoría de los saltadores que podemos observar en las actuales competiciones internacionales (Juegos Olímpicos, Campeonatos del Mundo, Campeonatos de Europa, etc.). Comparando las carreras

<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> Dapena, J. M. Ae y A. Iiboshi, "A closer look at the shape of the high jump run-up", *Track Coach*, Mountain View, California, núm.138, 1997, p. 4407.

<sup>&</sup>lt;sup>45</sup> Paolillo, B., "Why use a curved approach in the flop jump?" *Modern Athlete and Coach*, Australia, vol. 27, núm.1, 1989, pp. 19-20.

Farley, C.T. y O. González, "Leg stiffness and human frecuency in human running", art. cit,

Laffave, G., art. cit., pp. 3-15.

modernas con las que se venían ejerciendo vemos que en la actualidad el deportista consigue una mayor velocidad, a la vez que con esta impulso, puede seleccionar con mayor facilidad el ritmo de ejecución de los apoyos y automatizar de manera más sencilla la forma, la amplitud y la frecuencia de las zancadas.

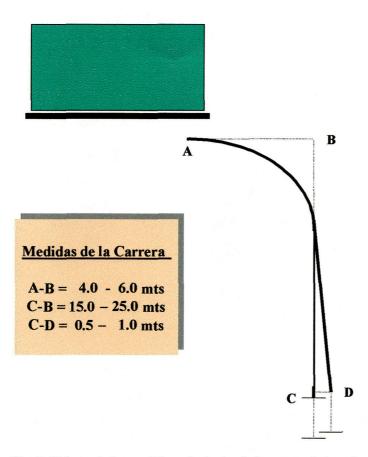


Fig. 3. Valores de las medidas principales de la carrera de impulso.

Partiendo de la observación de un elevado número de saltadores incorporados a la élite mundial de la disciplina podemos decir que se han utilizado tres tipos o variantes en la carrera de impulso: carrera curva, carrera parabólica y carrera en jota. De estas tres propuestas, la menos utilizada hoy en día es la carrera totalmente en curva; quizás por la dificultad que presenta controlar el cuerpo en el momento de realizar una batida a gran velocidad. Con este tipo de carrera puede verse afectado el equilibrio dinámico del saltador y las zancadas de carrera son más inconsistentes y, por lo tanto, los problemas para ajustar el lugar de batida y alinearse suelen ser mayores. Además, con este tipo de trayectoria, teóricamente, la fuerza centrífuga actúa durante más tiempo sobre el atleta,

con todo lo que ello implica en el desarrollo de la carrera y el resultado final de la misma.

Aunque la carrera en J es la más utilizada por los atletas, tanto ésta como la parabólica permiten el logro de mayor velocidad y definir mejor la estructura de la zancada. También, en ambos tipos no hay cambios bruscos de dirección; en el trazado en J por presentar más abierta la parte rectilínea y en el parabólico por presentar más apoyos en curva (que disminuyen el número de grados a corregir en cada apoyo —desde los aproximadamente 90° de salida a los aproximadamente 30 ° de llegada).

Uno de los objetivos de la trayectoria que realiza el saltador al final de la carrera de impulso en el *fosbury-flop* es facilitar la colocación del cuerpo respecto al listón. En el salto de altura, el saltador, además de ejecutar un tramo de la carrera en recta y otro en curva, tiene que colocarse en el momento del franqueo en una posición horizontal y de espaldas al listón que debe superar. La posición a la que nos referimos se ve favorecida por la impulso curvilínea propia de este estilo. Para Bothmischel<sup>48</sup> una de las ventajas del *fosbury-flop*, además de dicho trazado curvo, es la disposición más económica que toma el cuerpo en el franqueo. En este caso, el grado de aprovechamiento técnico de la posición es máximo respecto a otros estilos de salto utilizados hasta la fecha, como se aprecia en los siguientes dibujos de Müller<sup>49</sup> modificados.

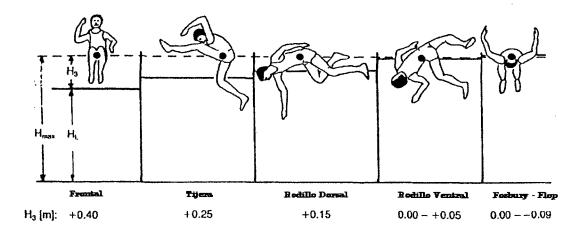


Fig. 4. Diferencia teóricas entre la altura del C.M. y la altura del listón

<sup>&</sup>lt;sup>48</sup> Bothmischel, VE., art. cit. p.3-8.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> Müller, AF., Biomechanik der Leichtathletik, Stuttgart, 1986, p. 48-60.

Esto es posible en cuanto que, con la posición que puede tomar el cuerpo en el punto más alto de la parábola de vuelo, el saltador es capaz de sobrepasar un listón estando el C.M. justo encima del mismo o incluso por debajo de él.

En el rodillo ventral el C.M. siempre debía pasar por encima del listón, mientras que en el fosbury-flop la posición ideal es aquella donde la mayor cantidad posible de masa del cuerpo del saltador cuelga por debajo del mismo (Ecker<sup>50</sup>). De esta forma el saltador consigue que el C.M. pase por debajo del listón mientras su cuerpo está por encima de el. Sin embargo, la mejora en el resultado que esta fase puede aportar a deportistas experimentados es pequeña. Véase en el cuadro siguiente la eficacia teórica según las distintas técnicas de salto, expresada entre la distancia de la altura del C.M. del saltador al final de la fase de vuelo y la altura del listón.

Eficacia Teórica	Eficacia Teórica de la Técnica de Salto							
Técnica de Salto	Diferencia entre altura C.M. y listón (cm)							
Tijera	-0.153 centímetros							
Rodillo costal	-0.086 centímetros							
Tijeras estilo este	-0.060 centímetros							
Tijeras estilo oeste	-0.057 centímetros							
Fosbury-flop	+0.082 centímetros							
Rodillo ventral	+0.178 centímetros							
Estilo Hay (mortal adelante)	+0.258 centímetros							

Tabla -9. Eficacia teórica en las distintas técnicas de salto.

Otra de las ventajas del estilo *fosbury-flop* radica en su aprendizaje. Los gestos son relativamente fáciles de asimilar, especialmente entre saltadores muy jóvenes. En cambio, en los estilos precedentes donde se otorgaba cierto culto al listón, los movimientos que se requerían para sobrevolar sobre él estaban en el ámbito de los

<sup>&</sup>lt;sup>50</sup> Citado por Johnston, D., "The speed/power Flop - It's a natural?", en *Track and field Quarterly Review*, Kalamazoo, Mich., vol. 88, núm.4, 1988, pp. 21.

controles motores más precisos o difíciles de ejecutar. Tampoco debemos olvidarnos de las características de los antiguos fosos de caída, ya que tampoco se disponía de zonas de caídas con un mínimo de seguridad que no atentaran contra la integridad física del atleta. Sin embargo, actualmente los adelantos habidos en las instalaciones utilizadas para la práctica del atletismo, así como en los materiales empleados en la construcción de los fosos, han minimizado de forma considerable los posibles riesgos que pudieran existir a la hora de aplicar estas variante de salto de altura.

#### FASES DE LA CARRERA DE IMPULSO

Generalmente, la carrera de impulso en esta técnica de salto de altura se puede desglosar en una serie de fases aceptadas internacionalmente por la mayoría de los entrenadores y estudiosos de esta modalidad atlética: (a) fase preliminar y/o puesta en marcha; (b) fase de progresión; (c) fase de aceleración en curva con preparación de la batida; (d) fase de la batida (que forma, por sí misma, una fase aparte claramente diferenciada de la carrera). Cada una de estas fases posee aspectos, contenidos y objetivos diferentes entre sí, pero que en su conjunto actúan de manera secuencial y residual sobre la posterior, formando un todo indivisible que condicionará gran parte del éxito final que tenga el salto.

## La parte recta de la carrera de impulso

Las dos primeras fases (preliminar y/o puesta en marcha y la fase de progresión) suelen ejecutarse en una trayectoria recta que casi siempre es perpendicular al listón o ligeramente inclinada hacia lo que constituye el exterior del arco de la carrera. Hay que considerar que la parte preliminar no siempre es usada por todos los especialistas de esta modalidad. Su propósito busca crear una inercia para que el saltador se introduzca en la carrera recta con cierto dinamismo y, así, favorecer una progresión fluida y eficaz durante la impulso al listón. Habitualmente, se inicia antes la visualización de todo el movimiento.

Esta puesta en acción es una elección personal. Se ejecuta a través de balanceos, con pasos picados más o menos cortos, andando, con vaivenes en el sitio, o bien con una pequeña carrerilla inicial. Comprende un espacio concreto, o no, hasta el punto de referencia donde verdaderamente empieza la carrera con la fase de progresión en recta.

No obstante, entendemos que, por regla general, los entrenadores no le dedican la atención necesaria y bajo nuestra apreciación, esto no es una decisión del todo correcta por la incidencia que posteriormente puede ejercer sobre la eficiencia de la carrera y en la actitud que predispone al salto.

A esta acción inicial del saltador le sigue una fase de carrera en recta que tendrá una longitud y número de pasos diferente para cada atleta; normalmente existe una relación directa entre la longitud de la carrera recta, la velocidad de la misma y el nivel de rendimiento del saltador. Respecto a este último aspecto, debemos señalar que resulta innecesario realizar una carrera recta muy larga cuando la altura de salto es pequeña, ya que siempre, o casi siempre, estará asociada a una velocidad de entrada poco elevada. Sin embargo, sería un error ganar velocidad muy rápido y luego no controlarla en el momento de pasar a la fase curva, ya que esto generaría pérdidas de velocidad y/o ejecución de zancadas inefectivas al final de la misma (Schweigert<sup>51</sup>). Este autor insiste en la necesidad de desarrollar un modelo de ritmo consistente de carrera a través del entrenamiento.

Normalmente la parte rectilínea corresponde a la fase más larga de toda la carrera. Engloba, casi siempre, a los cuatro o seis primeros apoyos ejecutados con zancadas amplias y progresivas y con poca frecuencia gestual; son apoyos elásticos, efectuados sobre el metatarso. Es importante que la rodilla de la pierna libre busque la horizontal, mientras que la pierna de apoyo intenta la extensión completa, marcando un "tándem" amplio de carrera. Esto hace que sea una carrera más saltada que la que habitualmente realiza cualquier deportista en un desplazamiento rectilíneo. Laffave<sup>52</sup> hace hincapié en el modelo masa-resorte simple, propuesto por Cavagna<sup>53</sup>, aplicado al comportamiento que presenta el sistema músculo-esquelético del saltador en su desplazamiento durante la carrera hacia el salto. Se trata de optimizar la energía cinética que va acumulando el saltador con sus zancadas realizadas casi en forma de saltos para obtener un mayor beneficio en la batida (70% según Alexander y Vermon<sup>54</sup>). Se trata de

<sup>51</sup> Schweigert, D., "Dynamic high jumping", Track and Field Quarterly Review, Kalamazoo, Mich., núm. 4, 1992, p. 39.

52 Laffaye, G., art. cit., p.4.

<sup>&</sup>lt;sup>53</sup> Cavagna, GA., "Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle", Exercise Sport Science Reviews, Haverstown, Md., núm. 5, 1977, pp. 89-129.

Alexander, RM., A. Vernon, "Mechanism of hopping by Kangoroos", Journal Zool, London, núm. 177, 1975, pp. 265-303.

preparar la musculatura para rendir al mayor potencial en el momento de la batida (aprovechamiento el comportamiento elástico – reflejo de la musculatura antigravitatorio. Farley y González<sup>55</sup> destacan la frecuencia de apoyos, la velocidad de la carrera y el ángulo de incidencia de esta velocidad como los parámetros que más influyen en la creación de una rigidez óptima de la musculatura extensora que intervendrá en la realización del impulso final. MacMahon *et alii*<sup>56</sup> destacan que la rigidez aumenta con la velocidad pero disminuye cuando aumenta la flexión de la rodilla durante la carrera de impulso.

Por el contrario, muchos entrenadores tanto españoles como extranjeros opinan que los beneficios se pueden lograr igualmente aunque no se practique una carrera saltada.

Para Téllez<sup>57</sup>, el ritmo en esta fase de la carrera se desarrolla en las dos o tres primeras zancadas de impulso. El mismo autor añade que "la falta de consistencia de estas zancadas perjudicará al ritmo, la velocidad y en definitiva, al éxito de la carrera". Si el punto de batida varía constantemente como consecuencia de no existir un patrón de zancada consistente, el atleta se desorientará en la batida y perjudicará el alcance del punto más alto de la parábola de vuelo encima del listón.

Durante esta parte de la carrera al igual que en la curva, el atleta debe sentirse seguro, firme en la ejecución de sus pasos, incluso siente que domina sus pies. A título personal, y permitiéndome una licencia respecto al lenguaje utilizado en estas líneas, podríamos añadir que es una sensación de *coger gas*, de acelerar en cada apoyo para *explotar* en el momento de la batida. Es un correr fluido, *redondo*, sin grandes saltos, en el que los pies saben a donde quieren ir. En ella, si el pie no da el zapatazo tratando de *hundir la pista* es porque el pie se ha quedado pegado y no ha mostrado el dinamismo y la agresividad que precisa este gesto.

Actualmente se está poniendo mucha atención a la importancia de las referencias que el saltador coloca a lo largo de la carrera. El control visual de estas señales le sirven

Farley, C.T., y O. González, "Leg stiffness and human frequency in human running", pp. 181-186.
 MacMahon, T.A., y G. C. Cheng, "The mechanics of running: how does stiffness couple with speed?"
 Journal of Biomechanics, New York, vol. 23, núm. 1, 1990, pp. 65-78.

Tellez, K., "Elements of the high jump", *Track Technique*, Mountain-View, California, núm. 125, 1993, pp. 3987-3990.

al atleta para reforzar lo que va realizando o si procede le ayudan a rectificar las posibles pequeñas desviaciones de su modelo de carrera. El ser capaces de utilizar y respetar las señales va a contribuir a una mejora en cuanto que va a permitir mantener o aumentar la velocidad horizontal, una postura adecuada y disminuir las oportunidades de error en la batida. En definitiva, una habilidad que debe trabajarse en los entrenamientos.

Otra cuestión interesante es el utilizar marcas de entrenamiento para mejorar la fase de impulso de los saltos. Mientras que el atleta ajusta su zancada según la relación que perciba con el punto de batida, el entrenador, por su parte, basa los posibles errores en la desviación de la distancia media o ideal de batida. Nuestra experiencia personal como saltadora y, más tarde, como entrenadora, se basó en mantener una referencia durante la carrera (el listón), que permitía la orientación con respecto a la colchoneta; al mismo tiempo trataba de controlar otra señal colocada en el suelo que aseguraba una correcta entrada en la carrera curva. Por el contrario, Myers<sup>58</sup> describe que el punto focal durante la carrera en recta debe dirigirse directo hacia delante, pero no al listón, de forma que al iniciar la curva cambia la atención hacia lo alto del soporte contrario de la carrera. Por ejemplo, los principiantes tienden a mirar las marcas colocadas en el suelo.

En este aspecto, los técnicos comentan que de forma habitual los saltadores de longitud utilizan una referencia seis metros antes de la tabla y según Berg y Hay<sup>59</sup>, a cinco pasos de la tabla. En estos estudios, se confirma que los saltadores de longitud de mayor nivel miran menos a la tabla que los debutantes o aquellos de menor nivel de rendimiento con el objeto de regular la zancada.

Otro aspecto relevante es la colocación del cuerpo en esos primeros apoyos. El tronco, que al iniciar la *fase de progresión* pierde la inclinación de la puesta en marcha, se coloca vertical y con un movimiento de los brazos sincronizados con la acción de las piernas. Durante la *carrera en recta*, el C.M. del atleta debe estar lo más alto posible respecto al suelo y desplazarse con una trayectoria rectilínea respecto al mismo. El

59 Berg, y Lundin, art.cit., p. 46.

<sup>&</sup>lt;sup>58</sup> Myer, B., "Mechanics of the high Jump", *Track & Field Quarterly Review*, Kalamazoo, Mich., vol.88, num. 4, 1988, p. 17.

atleta debe sentir que se estira, que está flotando y que es más alto de lo que en realidad es.

En la carrera, la fuerza que actúa sobre el C.M. durante la fase de vuelo es la fuerza de la gravedad (peso del atleta), mientras que en las fases de apoyo o contacto con el suelo actúa la fuerza de impulso que impide, como fuerza contraria a la de la gravedad, que el C.M. se hunda, favoreciendo así el desplazamiento correcto del deportista. Gracias a estos impulsos es posible controlar y, posteriormente, modificar la dirección de la carrera al iniciar la fase curva. Recordemos que en las fases de vuelo el C.M. se mueve rectilíneamente siguiendo la tangente de la curva que describe previamente (Muller)<sup>60</sup>, en la que no se puede modificar la trayectoria aérea por no disponer de un punto de apoyo.

Vélez<sup>61</sup> señala que, durante esta fase,

El saltador busca un apoyo metatarsiano activo, abandonando el suelo con el talón muy alto, donde la pierna realiza un empuje por extensión completa de la rodilla y el tobillo para retornar, con un movimiento circular pasando el talón cerca del glúteo. A partir de aquí, la pierna sobrepasa la cadera desplazándose la rodilla adelante -ligeramente arriba- y, a continuación, se extendiendo progresivamente dirigiéndose al suelo adelante-atrás buscando la tracción.

## La parte en curva de la carrera de impulso

En la parte curva de la carrera, además del normal empuje hacia delante que realiza el deportista y de la fuerza que ejerce la gravedad sobre el atleta, se desarrolla una fuerza externa que actúa sobre el C.M. perpendicularmente a la dirección que lleva la carrera. La fuerza resultante entre la fuerza de apoyo y la fuerza centrípeta, tendrá su origen en el pie de apoyo y está dirigida hacia el C.M. (Dapena)<sup>62</sup>.

Esta fuerza resultante intenta contrarrestar la fuerza centrífuga a la que se ve sometido el saltador, la cual tiende a expulsarle hacia el exterior de la parte curva de la

<sup>&</sup>lt;sup>60</sup> Citado por Tidow, G. en "Model technique analysis sheets. Part VIII: The flop high jump", New Studies in Athletics, vol. 8, núm. 1, 1993, pp. 31-44.

Tengo que agradecer a D. Miguel Vélez la consulta y el aprovechamiento de sus apuntes de clase de la Escuela Nacional de entrenadores, pendientes de publicación.

carrera. El efecto de la fuerza centrífuga no se atribuye a una fuerza real, sino a la inercia: la tendencia de un cuerpo en movimiento a desplazarse a lo largo de una travectoria en línea recta. Para la mecánica newtoniana, la fuerza centrífuga no existe y plantea que lo que en realidad se observa es simplemente la manifestación de que las rectas según se observan en los sistemas inerciales no corresponden a rectas cuando se observan en sistemas no inerciales. Por lo tanto, en realidad cuando hacemos referencia a la fuerza centrífuga, estamos hablando de una fuerza ficticia que se debe incorporar a las ecuaciones si se insiste en describir los movimientos desde un sistema de referencias no inercial (Goldstein<sup>63</sup>). Raffin-Pevloz<sup>64</sup> hablan de que se produce una fuerza ficticia que empuja al saltador hacia fuera, es decir, al exterior de la curva, pero que es compensada por la inclinación del deportista hacia el interior de la curva. De esta manera, el saltador evita hacer un esfuerzo excesivo para contrarrestarla. Los autores mencionados señalan que es necesario destruir el mito de que la fuerza centrífuga es una fuerza tangente al radio de la curva que, almacenada durante la misma, es restituida en el momento de la batida. La fuerza centrífuga no es más que una fuerza ficticia contrarrestada por una fuerza centrípeta de la misma dimensión y dirección opuesta.

Sin embargo, la existencia teórica de esta fuerza también provoca importantes beneficios sobre la carrera de impulso (Laffaye<sup>65</sup>):

- Dicha fuerza, unida a las características de la carrera, constituida por zancadas saltadas, permitirán aumentar la rigidez muscular y la fuerza de empuje;
- Permite bajar, de forma progresiva, el C.M. sin necesidad de flexionar excesivamente las rodillas:
- Facilita la creación de momentos angulares que, posteriormente, ayudarán a colocar correctamente el cuerpo en el momento de sobrepasar el listón y
- Asegura, al saltador, que pueda colocar su C.M. por detrás del pie de impulso, estirando los músculos extensores de la cadera y activando el reflejo de estiramiento (reflejo miotático).

<sup>&</sup>lt;sup>62</sup> Dapena, J., "Mechanic of translation in the fosbury-flop", Medicine and Science in Sports and Exercise", vol. 12, núm. 1, 1980, p.39.

<sup>63</sup> Goldstein, H., Classical Mechanics, Ed. Addison, Wesley, Reading Mass, 21980.

<sup>&</sup>lt;sup>64</sup> Cfr. Houvión, M., R. Prost, y H. Raffin-Peyloz, *Tratado de atletismo: Saltos*, Ed. Hispano europea, Barcelona, 1986, p 206.

Por su parte, Vélez<sup>66</sup> añade que además la carrera en curva facilita:

- el alineamiento (pie-cadera-hombro) al inicio de la batida;,
- una mayor flexión de la pierna interior a la curva que va a permitir en la fase acelerante del penúltimo apoyo el adelantamiento de la parte inferior del cuerpo y, por lo tanto, la inclinación atrás al inicio de la batida y,
- un aumento del camino de impulso del C.M. durante la batida.

Ambas fuerzas, la centrípeta y la centrífuga, dependen de la masa del saltador (M), de la velocidad tangencial o velocidad con la que se desplaza el atleta (V) y el radio de la curva (R) que marca la trayectoria hacia el listón ( $F = M * V^2 / R$ ).

En esta fase de la carrera de impulso, la proyección del C.M. sobre el suelo siempre debe estar más cercana al centro de la curva que el mismo pie del atleta. Esta es la causa por la que se produce, instintivamente, la típica inclinación hacia el interior de la curva propia de esta técnica de salto. La misión que cumple esta inclinación es poder conservar el equilibrio y la velocidad que había desarrollado el saltador en la parte recta de la carrera. Su magnitud es diferente en cada saltador, estando condicionada por la velocidad de la carrera y el radio de la curva, llegando a superar, en algunos casos, los 30° de inclinación respecto a la vertical.

Esta inclinación del cuerpo conlleva, como ya hemos explicado, un ligero descenso del C.M. Para algunos entrenadores es un descenso lógico y natural, mientras que para otros expertos, debe ser fruto de un entrenamiento meticuloso por parte del atleta hasta que automatice el correr rápido y bajo (Dapena<sup>67</sup> et alii).

Cuando esta inclinación es menor de 30°, le corresponde un porcentaje descendente del C.M. de aproximadamente un 13% y en el caso de una inclinación de 35° supondría un descenso de aproximadamente un 18 % (Beulke<sup>68</sup>). En trabajos

<sup>&</sup>lt;sup>66</sup> Vélez, M., documentos citados.

<sup>&</sup>lt;sup>67</sup> Dapena, J., R.E. Vaughn, y G.L. Jonhson, "High Jump", opus cit., pp. 5 y 157. Véase así mismo, Dapena et alii. Track and Field High Jump, 1993, p.5 y 254.

<sup>68</sup> Beulke, H., "Physical significance of the curve run-up in the Fosbury-flop", *Track and field Quarterly Review*, Kalamazoo, Mich., vol. 77, núm. 3, 1977, pp. 37-40.

posteriores. Baursfeld y Schröter<sup>69</sup> indicaron que con una inclinación de 30° del eje longitudinal del cuerpo durante la carrera circular existe un descenso del C.M. de aproximadamente 12 centímetros.

#### El radio de la carrera curva

Lucas<sup>70</sup> señalaba con acierto que la mayoría de los saltadores que utilizan el fosbury flop no conocen el radio de la curva de sus carreras de impulso, ignorando incluso el punto exacto donde comienza esta importante fase del salto. Según el autor, muchos atletas adultos aceptan el hecho de mantener por años el mismo patrón de carrera sin introducir ningún cambio.

Sin embargo, cualquier técnico sabe que una de las claves para realizar un salto correcto está en ser capaz de encontrar el radio de la carrera curva que resulte más adecuado para cada caso. Es un hecho que el radio está directamente relacionado con la velocidad con la que el deportista entra a la batida. Vélez<sup>71</sup>, a partir de propuestas realizadas por Bauersfeld y Schöter<sup>72</sup>, Schmolinsky<sup>73</sup> y Heinz<sup>74</sup>, habla sobre el radio de la curva haciéndola dependiente del nivel físico - técnico y la edad de los atletas, proponiendo los siguientes valores: Principiantes: 3-7 metros; Mujeres y Jóvenes: 6-10 metros; Hombres: 8-12 metros. López<sup>75</sup>, por su parte, propone radios entre 6-8 metros para los saltadores noveles y de 8-10 metros para los avanzados. Dapena<sup>76</sup> sugiere entre 7-10 metros para saltadoras con registros superiores a 1.80 metros y entre 10-15 metros para saltadores que superan alturas de 2.20 metros.

Como ya se indicó anteriormente, tenemos que tener en cuenta que cuando un saltador corre en curva está provocando esa fuerza centrífuga que tiende a echar al

<sup>&</sup>lt;sup>69</sup> Cfr. En, Hegëdus, J., "Aspectos biomecánicos generales del salto de altura", Stadium, Argentina, vol.

<sup>25,</sup> núm. 148, 1991, pp. 46.

The run-up curve in the high jump", Modern Atlhete and Coach, Athelstone, Australia, vol. 24, núm. 2, 1986, pp. 32-35.
<sup>71</sup> Vélez, M., documentos citados.

<sup>&</sup>lt;sup>72</sup> Bauersfeld, K. y G. Schröter, *Grundlgen der Leichtaletik*, Berlín, Sportverlag, 1979.

<sup>&</sup>lt;sup>73</sup> Schmolinsky, G., *Atletismo*, Madrid, Ed. A. Pila Teleña, 1981, p.279.

<sup>&</sup>lt;sup>74</sup> Heinz, S., "Curved run-up in straddle?" Modern Athlete and Coach, Australia, vol. 12, núm. 4, 1974,

López, F., "Salto de altura", Escuela Nacional de Entrenadores y R.F.E.A., Madrid, 1983, p. 14. <sup>76</sup> Dapena J., "How to design the shape of a high jump run-up", *Track Coach*, Mountain-View, California, núm. 131, 1995a, pp. 4180.

saltador hacia el exterior de la trayectoria que recorre. Para compensar esta fuerza aquel debe correr inclinado hacia el interior de la curva. De esta forma, genera una fuerza centrípeta que depende de los tres parámetros señalados (masa, velocidad y radio de la curva), los cuales, en algunos casos, pueden ser modificados por el saltador.

Algunos autores dan a esta fuerza, y a las posiciones que la generan, una importancia que transciende a la mera carrera de impulso, señalando que favorece las posteriores rotaciones que permiten el paso del listón. Sin embargo, no es menos cierto que las inclinaciones del tronco que presenta el saltador en determinados momentos de la carrera desaparecen en el momento final de la batida. No obstante, esa fuerza centrípeta generada durante la carrera en curva, permite un incremento de la tensión que soportan los apoyos, predisponiendo a la musculatura extensora del tren inferior para ejercer máximas tensiones en el momento de la batida (fuerza de empuje = fuerza máxima / desplazamiento vertical de la pierna de impulso;  $K = F_{max} / \Delta I$ ).

Existe la idea generalizada de que a mayor velocidad de carrera, mayor deberá ser el radio de la curva que se recorra y, por el contrario, cuanto menor sea la velocidad del saltador en su aproximación al listón menor deberá ser el radio de la curva. Sin embargo, aún aceptando la validez inicial de este principio, resulta insuficiente para explicar las diferentes trayectorias curvas que se pueden observar entre los especialistas de esta modalidad. Aspectos como la fuerza, las posibles lesiones y el dominio técnico son, entre otras, importantes variables que permiten alterar el valor del mencionado radio de la curva.

Lo ideal sería que cada atleta tuviera conocimiento del radio de la curva que recorre y el punto donde realiza la batida para, de esta manera, determinar con facilidad el punto de inicio de la curva y la trayectoria de esta fase de la carrera de impulso. Para ello, existen numerosas propuestas que pueden determinar la trayectoria más idónea para cada saltador, aunque casi todas ellas parten de datos biomecánicos, que no siempre explican completamente la variabilidad que puede presentar este parámetro. Muchos entrenadores incluso sugieren descubrir y estabilizar la trayectoria mediante el método de ensayo y error (Dapena)<sup>77</sup>. Esta última posibilidad debe ser tomada con

<sup>&</sup>lt;sup>77</sup> Ibidem, p. 4180.

preocupación, ciñéndola únicamente a aquellos saltadores que no tienen los medios necesarios o la posibilidad de ser estudiados de forma más exhaustiva y objetiva.

Sin embargo, éste es quizás el primer problema con que habitualmente nos encontramos, ya que cuando los entrenadores proponen las carreras de sus atletas normalmente lo hacen sobre un radio de partida ya conocido. Francisco López<sup>78</sup>, en lo que se utilizaba como manual en la Escuela Nacional de Entrenadores de la Real Federación Española de Atletismo, define un modelo en el que se parte del radio teórico que debe tener la curva y a partir de él determinar el punto donde se debe empezar la carrera en curva para que ésta termine en el punto de batida idóneo. Para ello, se traza una línea recta paralela al listón que tenga una longitud igual al radio y se mide a partir del punto donde se realiza la batida. Desde los dos extremos de la recta se dibujarán dos arcos de circunferencia con el mencionado radio; el lugar donde se cruzan éstos es el centro de la trayectoria curva de la carrera de impulso. En el siguiente dibujo se ilustra el método expuesto:

<sup>&</sup>lt;sup>78</sup> López, F., "Salto de Altura", en, J.Bravo, F. López, H. Ruf y F. Seiru-lo, *Atletismo II*, C.O.E., Madrid, 1992, p. 53.

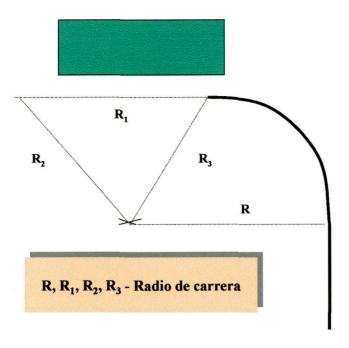


Fig. 5. Propuesta para determinación de la carrera en curva.

Las referencias se colocan en la pista a partir de medidas que se efectúan desde diferentes puntos como por ejemplo: metros de inicio de carrera a inicio de curva, saltómetro a inicio de la curva, etc. Una solución la podemos encontrar nuevamente en la geometría, a partir de la intersección de dos arcos dibujados desde diferentes puntos de una línea. Así, si desde el saltómetro más cercano marcamos un punto situado a tres metros, justo debajo de la proyección del listón, o bien desde la base de ambos saltómetros, y posteriormente se mide la distancia que hay desde ambos puntos al lugar de inicio de la carrera y al inicio de la curva. De esta forma, estaremos en condiciones de asegurar que siempre determinaremos correctamente la trayectoria de la carrera.

Para establecer el **radio** óptimo de cada sujeto, lo ideal es conocer la velocidad con la que el deportista debe iniciar la batida y la inclinación que es capaz de mantener el saltador en la carrera curva. Todo ello junto con la dirección final de la carrera son datos importantes a estudiar por parte de cualquier entrenador que desee optimizar al máximo el rendimiento de la carrera de impulso de su atleta.

Como se ha mencionado, la velocidad es uno de los parámetros que va a determinar la fuerza centrípeta que debe crear el saltador durante la fase curva de la

carrera (F<sub>centripeta</sub> = MV<sup>2</sup>/R), pero también podemos deducir que ésta viene asociada al radio de la trayectoria curva ejecutada. Cuando el radio es constante, la fuerza centrípeta aumentará con la velocidad con la que el saltador realiza la carrera, pero ésta disminuirá cuando aumentamos el radio. Por lo tanto, un radio más grande permite correr con comodidad incrementando la velocidad de entrada y manteniendo el valor de la fuerza centrípeta. Por el contrario, si se reduce la longitud del radio y se mantiene la misma velocidad horizontal en el desplazamiento, se produce un aumento de la fuerza centrípeta que tiene que ser compensada con una mayor inclinación del atleta. Un radio muy cerrado conduciría a una carrera poca cómoda. Un radio demasiado abierto provocaría poca inclinación al interior de la curva. Esto significa que el saltador llegaría a la batida en una posición nada beneficiosa para producir elevación, ya que se produciría poco momento angular lateral, parámetro cuya magnitud, dentro de unos límites facilita el paso del listón; además de que al inicio de la fase de batida, el C.M. estaría demasiado elevado.

Dapena <sup>79</sup> desarrolló un método para determinar la carrera de impulso a partir del análisis de los saltos de los finalistas del Campeonato del Mundo de 1991, mediante la determinación del sector del círculo que, terminando en la batida, pasa por las pisadas segunda, tercera y cuarta anteriores a la misma. Los saltadores que conocen la velocidad final de la carrera que habitualmente utilizan pueden tratar de calcular de forma aproximada el valor de un radio óptimo mediante la ecuación  $r = V^2 / Q$ . Teniendo en cuenta que los autores hacen una estimación bruta que sitúa el valor de Q en 6.8 m/s<sup>2</sup> (SD:  $\pm$  0.8) en los hombres y de 4.8 m/s<sup>2</sup> (SD:  $\pm$  1.0) en las mujeres.

Cuando Dapena pretende evaluar la carrera del saltador se apoya en el ángulo que forma la paralela al listón en el punto de batida con la trayectoria aérea del C.M. en el penúltimo apoyo  $(P_1)$  y el valor teórico antes mencionado. A partir del valor de  $P_1$  o, en su defecto, el ángulo que forman la paralela al listón en el punto de batida con la línea que une los dos últimos apoyos  $(t_1)$ , el autor aplica un valor de referencia (J) que reflejamos en la siguiente tabla:

<sup>&</sup>lt;sup>79</sup> Dapena, J., "How to design the shape of a high jump run-up", p. 4180. Véase asimismo Dapena, J., M. Ae, y A. Iiboshi,, "A closer look at the shape of the high jump run-up", *Track Coach*, Mountain View, California, núm. 138, 1997, p. 4409.

P <sub>1</sub>	t <sub>1</sub>	J	P <sub>1</sub>	t 1	J
25°	10°	1.75	40°	25°	4.65
30°	15°	2.70	45°	30°	5.75
35°	20°	3.65	50°	35°	7.00

Tabla - 10. Valores para el radio de la curva en función de la trayectoria de la carrera respecto al listón

Con el valor de J se marca una línea paralela al listón que pase por el punto de batida (ver siguiente figura). En el extremo opuesto, se traza una perpendicular al listón de diez metros de longitud. Si unimos el punto de batida con los extremos de esa segunda línea de diez metros, tendremos en su extremo el centro del círculo que corresponde con la trayectoria curva de la carrera. Este punto se puede calcular sobre esta línea a partir del radio obtenido en la ecuación.

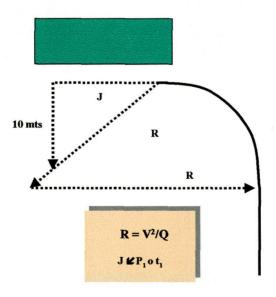


Figura 6. Determinación del radio ideal de la trayectoria curva de la carrera de impulso

### Las inclinaciones durante la carrera en curva

Se ha aceptado universalmente que el ángulo que forma el cuerpo en relación con el suelo es un indicativo de la técnica que puede exhibir un atleta, tanto durante los últimos apoyos de la carrera, como en la llegada y salida de la batida. Habitualmente, los estudios biomecánicos han enfocado estos ángulos de forma casi exclusiva, en la batida tanto en el plano frontal como el lateral. Su cometido es evaluar posibles carencias técnicas durante la ejecución de la batida o de la trayectoria efectuada durante la aproximación al listón.

En la siguiente figura<sup>80</sup>, se representan las inclinaciones teóricas de un saltador durante la carrera en recta y la carrera en curva.

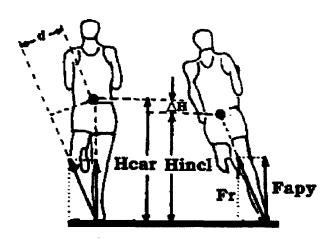


Fig. 7. Fuerzas aplicadas al suelo durante la carrera de impulso.

El criterio para determinar estos ángulos varía en función de las técnicas que utilizan los distintos investigadores siendo los más comunes los que citamos a continuación: línea que une el punto de apoyo de la mitad del pie al CM con el suelo; línea que une la cadera con el hombro con respecto a la horizontal; línea que une la espalda o costado con respecto al suelo; línea que une el pecho con el suelo. En nuestro caso utilizamos el ángulo formado por la línea que va del C.M a la punta del pie, con respecto a la línea que va del C.M. perpendicular al suelo.

<sup>&</sup>lt;sup>80</sup> Dapena, J., "Mechanics of translation in the fosbury-flop", art. cit., p. 39.

Como es lógico, el saltador durante la carrera de impulso presenta diferentes angulaciones del cuerpo que también, como durante la batida, quedan manifestadas en los planos sagital y frontal. Durante la parte rectilínea de la carrera, en el plano sagital las variaciones en la inclinación son muy pequeñas mientras que en el plano frontal prácticamente no existen.

En la fase curvilínea de la carrera de impulso el comportamiento es completamente diferente. Los saltadores en esta parte de la carrera se inclinan hacia el interior de la curva en una proporción que varía en función de la velocidad de la carrera y el radio de la curva. La máxima inclinación se manifiesta fundamentalmente en los apoyos 1, 3 y 5 (numerados en orden inverso a su realización) de la carrera. Conrad y Ritzdorf<sup>81</sup>, durante el I – Campeonato del Mundo Junior en Atenas (1986), comprobaron este mecanismo en dos grupos de cuatro saltadores masculinos y cuatro femeninos. Estos autores, para el plano sagital, toman los ángulos entre el suelo y la línea que une el pie de apoyo con el C.M. desde la parte posterior del sujeto. En el plano frontal, toman el ángulo formado por el suelo al exterior de la curva y la línea que une el C.M. con el pie de apoyo. En la tabla siguiente están presentados los datos invertidos, correspondientes al plano frontal.

Paso	3º Anterior Batida		2º Anterior Batida		1º Anterior Batida		Batida	
Atleta	TD	то	TD	то	TD	то	TD	то
Sotomayor	-	-	61°	66°	57°	61°	82°	88°
Conway	62°	63°	58°	60°	57°	58°	84°	89°
Golushko	63°	64°	60°	66°	60°	62°	91°	93°
Müller	59°	63°	57°	55°	56°	62°	90°	90°

Tabla - 11. Inclinaciones laterales, plano frontal, en los últimos pasos de la carrera de impulso.

Vemos en la tabla anterior, como los ángulos apenas se modifican (aproximadamente 2°) desde el inicio (TD) al final (TO) de cada apoyo en el suelo, alcanzando sus valores más altos en el segundo y primer apoyo anterior a la batida.

<sup>81</sup> Conrad, A. y W. Ritzdorf, "High jump: Results of biomechanical study", art. cit, p.47.

Por su parte, en el plano sagital, el saltador lleva una posición que bien podría ser la de cualquier velocista durante la fase de máxima velocidad (vertical), excepto por la ya comentada inclinación hacia el centro de la curva. Sin embargo, en la antepenúltima zancada hay un enderezamiento con respecto al apoyo anterior (cuarto apoyo antes de la batida) que va a suponer una acción preparatoria de la fase posterior. La intensa actividad de los pasos va a determinar que en la última zancada se produzca un adelantamiento de los apoyos respecto al tronco. Esto se manifiesta con la típica inclinación hacia atrás del mismo en el momento de la batida, que es de unos 75-80° respecto a la vertical.

Con respecto a la bajada del C.M., siguen existiendo dos criterios claramente diferenciadas. Mientras que el profesor Dapena afirma en que la cadera debe bajar en los apoyos finales de la aproximación, los entrenadores de Europa Occidental opinan que la cadera, como en la subfase anterior, debe estar alta y adelantada, y que la inclinación lateral y la amplitud del paso permiten un descenso suficiente del C.M. que hace innecesario recurrir a mayores flexiones en la rodilla. Por nuestra parte, opinamos que si un atleta baja excesivamente por flexión de las caderas y por un ángulo más cerrado en la rodilla de apoyo, el deportista no va a ser capaz de aprovechar las fuerzas inerciales y de rebote en la batida porque el sistema seguiría deformándose y la rigidez, como ya se ha comentado disminuiría.

# El final de la trayectoria curva como responsable de la transición a la batida

La parte curvilínea es, desde el punto de vista técnico, la parte más complicada y determinante de toda la carrera de impulso. Representa el enlace entre la carrera y la batida. Su forma de ejecución repercutirá en el resultado final del salto. Por tanto, el comportamiento del saltador en esta fase de la carrera, es uno de los principales factores de rendimiento a tener en cuenta en la enseñanza y el entrenamiento de esta especialidad atlética. Laffaye<sup>82</sup> reconoce que es de capital importancia la trasformación de energía cinética a energía potencial gravitatoria que se produce precisamente en esta transición carrera-batida, y que le atañen a los cuatro últimos apoyos de la carrera. Este cambio en

<sup>82</sup> Laffaye, G., art. cit., p. 5.

el espacio y en el tiempo de la estructura de la zancada sirve para reorganizar la posición de los segmentos a fin de orientar lo mejor posible las fuerzas de impulso.

Lo ideal para esta sección de la carrera es conseguir una curva estable y sólida que permita desarrollar y conservar la velocidad de desplazamiento necesaria y que, además, sin perder la tensión muscular, facilite al atleta ejecutar una batida lo más eficiente posible.

El tránsito de la carrera recta a curva debe efectuarse de manera que la inclinación de todo el cuerpo hacia el interior de la curva se realice progresivamente y no de forma brusca. No hay que olvidar que el inicio de la curva debe coincidir con el comienzo de la aceleración que caracteriza a esta parte de la carrera. A título personal, podemos añadir que el hecho de ser capaz de acelerar, es decir, de cambiar el ritmo en el momento justo, o cuando el atleta quiere, es una sensación que el saltador consigue con el entrenamiento y los años de experiencia en la modalidad. Es un indicativo del buen estado de forma de muchos saltadores en determinados momentos de la temporada. Sin embargo, en los periodos de aprendizaje de la técnica ocurre con frecuencia que los atletas dejan de sentir su ritmo sin conseguir ajustar la carrera. El saltador se ve desorientado y empieza a hacer rehuses en cada intento. Esta situación puede estar motivada por diversas causas, entre las que no podemos descartar adaptaciones técnicas o condicionales no deseadas. Este problema se le debe prestar más atención de la que se le ofrece cuando aparece. Si la carrera "no sale" y el atleta se frena al final de la misma, el deportista, inconscientemente está automatizando esta conducta y desaprenderla será muy dificil.

Por consiguiente, opinamos que nunca es aconsejable saltar sin dar el máximo de las posibilidades de cada uno. Es preferible, incluso cambiar el contenido de la sesión en lugar de continuar una sesión técnica con esas dificultades. Desde nuestra experiencia, podemos afirmar que se cometen numerosos errores por realizar una carrera curva excesivamente rápida, ya que, en muchas ocasiones, nos puede llevar a perder el control de la misma. En estas situaciones, por la propia inercia adquirida, el atleta se ve obligado a batir sin convicción, a sabiendas, de que esto es un camino seguro para lesiones.

En esta línea, los estudiosos del *fosbury-flop* como Kerssenbroek<sup>83</sup> et alii, señalan que una mejoría en el sentido del ritmo y en la velocidad de la carrera podrían suponer un camino para añadir centímetros a las marcas.

Principalmente, en la carrera en curva se busca lograr una elevada velocidad final, aunque ahora debemos añadir que ésta se logrará preferentemente a partir de un incremento en la frecuencia final de los apoyos y a una adecuada modulación del tamaño de las zancadas. Si la velocidad se mantiene incluso hasta el momento en que el pie de batida se coloca en el suelo, o con sólo pequeñas variaciones, se darán todas las condiciones mecánicas necesarias que permitan al saltador alcanzar la posición horizontal del cuerpo para el franqueo del listón (Paolillo)<sup>84</sup>.

Sin embargo, podemos encontrar saltadores que se frenan en el antepenúltimo apoyo, o realizan un pequeño salto hacia al penúltimo apoyo tratando de disminuir la velocidad, error que se acompaña de un retraso exagerado de los hombros.

# Trayectoria de los apoyos finales de la carrera de impulso

En contra de la opinión de que todas las pisadas en curva deben realizarse sobre la línea que representa el arco de circunferencia que delimitan el primero y el último apoyo (batida en esta fase de la carrera), la experiencia confirma que, incluso entre atletas experimentados, el penúltimo apoyo frecuentemente se coloca fuera de la curva. Ya en el estudio citado del profesor Dapena se adoptó la decisión de ignorar este apoyo ya que de ser tenido en cuenta desvirtuaría la trayectoria curva que se trata de representar o medir. Por contra, Hubiche y Pradet<sup>85</sup> señalan que es necesaria la alineación rigurosa de los tres últimos apoyos sobre la trayectoria curva de la carrera.

Siempre se había hablado de que el penúltimo apoyo debía realizarse sobre el eje de carrera. Es cierto que los principiantes se caracterizaban por alejarse de dicho eje, achacándolo a una falta de maestría técnica y falta de fuerza específica que, con el paso del tiempo, la experiencia y mucho trabajo técnico, el atleta podía corregir. En el

<sup>&</sup>lt;sup>83</sup> Citado en, Pira, A. M., y J.H. Levarlet, "El fosbury flop", Cuaderno de atletismo, altura y pértiga, Madrid, núm. 4, 1981, pp. 6.

estudio mencionado, observamos que el supuesto error de principiante se presenta como la tónica entre saltadores de alto nivel. Esto nos hace pensar que podría ser la consecuencia de una adecuada preparación para enfrentarse a la fase de batida, sin desechar que lo verdaderamente correcto fuese intentar acercarse a la trayectoria curva de esta fase de la carrera.

Sabemos que la justificación biomecánica para esta rigurosa alineación de los tres últimos apoyos se basa en una mejor transición de las fuerzas de impulso que se manifiestan en el despegue. Vélez<sup>86</sup> apunta que la calidad de la impulsión estará en consonancia con la calidad de los tres últimos apoyos: el penúltimo debe acercarse al eje que forma la huella de batida con la huella del antepenúltimo. Los beneficios son muchos: evitar la colocación anticipada de espaldas al listón durante la batida, resistir la tensión para soslayar el hundimiento y ser muy activo para permitir que pase rápido la cadera, al mismo tiempo que se incrementa la frecuencia.

No obstante, la tendencia actual entre los atletas modernos es utilizar carreras más abiertas. De esta manera, es más fácil respetar la alineación de los tres últimos apoyos.

Por otra parte, para un amplio análisis de la última parte de la carrera de impulso se suelen evaluar diversos ángulos de la misma. En la bibliografía especializada se suele emplear las letras "P" y "t" para representar estos ángulos; P<sub>0</sub> es el ángulo entre el listón y la trayectoria de vuelo seguida por el C.M. después de la batida; P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>, son los ángulos entre el listón y el trazado del C.M. del saltador durante los dos últimos pasos; t<sub>1</sub> es el ángulo entre el listón y la línea que une los dos últimos apoyos de la carrera; t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>, etc., definen los ángulos formados entre la línea que une dos apoyos consecutivos con respecto a la prolongación del listón, como se refleja en el siguiente gráfico:

<sup>85</sup> Hubiche, JL., y M. Pradet, opus cit., p.193.

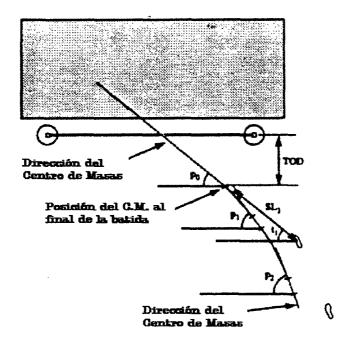


Fig. 8. Ángulos que forman la dirección de la carrera y la trayectoria del C.M. durante los últimos pasos de aproximación a la batida.

Dado que los análisis biomecánicos no están al alcance de la mayoría de los saltadores, se suele utilizar como valor de referencia un ángulo de 40° aproximadamente para delimitar la dirección final de la carrera. Este ángulo está formado por el listón y la dirección de movimiento del C.M. en la última fase aérea de la carrera inmediatamente anterior a que el pie de batida se coloque sobre el suelo (P<sub>1</sub>). Es recomendable experimentar otros valores (más o menos cercanos) que puedan satisfacer más al atleta. Hay que advertir que este ángulo no debe confundirse con el ángulo que forma el listón y la unión de las dos últimas huellas, que suele ser menor en 10-15 grados.

Vélez<sup>87</sup> encontró los siguientes valores:  $P_2$ :  $51^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ;  $P_1$ :  $40^{\circ} + -5^{\circ}$ ;  $P_0$ :  $36^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ;  $t_1$ :  $29^{\circ} \pm 5^{\circ}$ . Según Dapena<sup>88</sup>, lo recomendable es que  $P_1$  sea menor que  $P_2$  y  $P_0$  menor que  $P_1$ . Esto indica que el atleta está empujando lejos del centro de la curva, que es lo deseable y normalmente los atletas lo hacen inconscientemente. En cambio, aquellos atletas que empujan hacia abajo ( $P_0$  igual a  $P_1$ ) o hacia el centro de la curva ( $P_0$  mayor que  $P_1$ ) durante la batida generarán un movimiento en sentido contrario al de las agujas

<sup>&</sup>lt;sup>87</sup> Vélez, M. documentos citados. Valores de 21 saltador de nivel internacional entre los que se encuentra es saltador español G. Bécker.

Dapena, J., "Biomechanical analysis of the Fosbury-flop", Track Technique, Mountain View, núm. 105, 1987, pp. 3343-3350.

del reloj y por lo tanto, no consiguen apenas momento angular lateral (necesario en la batida para facilitar el franqueo de la barra), aún colocando el pie directamente por delante del CM.

El C.M. viaja directamente sobre las huellas en una carrera en línea recta. En la parte curva donde el atleta necesita inclinarse, el C.M. se traslada alejándose de los apoyos o lo que es lo mismo viaja más cerca del centro de la curva que las propias pisadas. Al final de la carrera, ambos trazados tienden a converger<sup>89</sup>, de tal forma que el C.M. se sitúa casi encima del pie de batida al final del despegue y su trayectoria es tangencial al plano del listón. Una consecuencia de la convergencia de las dos trayectorias curvas es que el ángulo final de la trayectoria del C.M., (P<sub>1</sub>), es siempre mayor que el ángulo correspondiente de la unión de la trayectoria de las dos últimas pisadas (t<sub>1</sub>), con una valor de 10°-15° (Dapena *et alii*°).

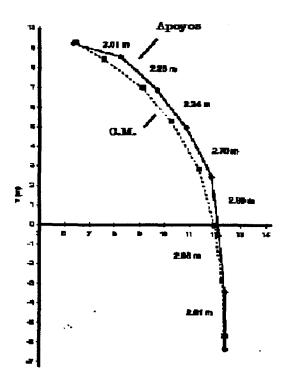


Fig. 9. Ejemplo de trayectorias recorridas por los apoyos y el C.M en una carrera de impulso.

90 Cfr. Dapena, M. Ae y A. Iiboshi, art. cit., p. 4409.

<sup>&</sup>lt;sup>89</sup> Dapena, J., "Mechanics of translation in the fosbury-flop", art. cit. p.39.

#### LA PREPARACIÓN DE LA BATIDA

En los tres últimos apoyos (dos últimos pasos de carrera) el atleta comienza a preparar la siguiente fase del salto: la batida. Para ello, el atleta sin atenuar la velocidad de carrera, deberá realizar una serie de acciones que se caracterizan principalmente por un aumento de la frecuencia de zancada, una amplitud de paso y una colocación adecuada de los apoyos respecto al listón. De estos tres aspectos, la amplitud y la orientación de los dos últimos pasos son los que presentan una mayor variabilidad intra y entre sujetos. A continuación se puede ver un cronograma en el que se aprecian a las acciones principales que realiza un saltador en los últimos pasos previos a la batida.



Fig. 10. Cronograma de los dos últimos pasos de aproximación a la batida

El comportamiento que puede darse en la organización de las tres últimas zancadas en relación con el ritmo y longitud de las mismas es motivo de una de las más interesantes controversias que se dan al describir la técnica más adecuada para ejecutar correctamente la carrera de impulso del salto de altura estilo fosbury-flop.

Bothmischel<sup>91</sup> señala que la penúltima zancada merece una especial atención al estar muy relacionada, desde el punto de vista funcional con la batida, ya que se tienen que solventar acciones complejas como el último desvío del C.M. en el plano frontal, el descenso o mantenimiento del C.M. respecto al suelo, y la aceleración del movimiento que realizan las caderas hacia delante. Strizjak<sup>92</sup> nos indica que el penúltimo apoyo debe ser activo y dirigido hacia delante en el momento en que se produce (acción completa sobre el mismo), de tal manera que la fase de impulso debe de ser dos veces mayor que la de amortiguación, ya que este índice (T<sub>impulso</sub> / T<sub>amortiguación</sub> = 2) caracteriza la forma en que se realiza la batida. Dicho índice y su valor, también son asumidos por Schubin y

<sup>&</sup>lt;sup>91</sup> Bothmischel, V.E., art. cit., p. 5.

<sup>&</sup>lt;sup>92</sup> Strizjak, AP., O.I. Alexandrov, C.P. Sidorenko y B.A. Petrov, opus cit. p. 6.

Schustin<sup>93</sup>, los cuales apuntan que durante la penúltima zancada los atletas comenten gran número de errores, especialmente cuando el mismo se ejecuta de forma poca activa. Los autores encuentran diferencias significativas entre los saltos ejecutados entre alturas máximas y alturas inferiores, especialmente en los dos últimos apoyos de la carrera y, en particular en situaciones de competición.

Tellez<sup>94</sup> señala que la penúltima zancada debe ser más larga que la última con el objeto de que el C.M. baje debido a esa mayor amplitud y a una flexión más acentuada en las articulaciones de la rodilla y la cadera. De esta manera, la última zancada debe ser más corta que las anteriores con el objeto de conseguir la elevación del C.M. que tiene lugar cuando se va a colocar el pie en la batida por delante de lo que sería la proyección del C.M. sobre el suelo. Esto permite, teóricamente, alcanzar una mayor velocidad vertical mientras se intenta conservar una elevada velocidad horizontal.

Dapena señala que el alargamiento de la penúltima zancada no siempre se manifiesta en todos los saltadores. Como ya vimos, atletas como Bykova, Sjöeberg o Paklin suelen acortar su última zancada, mientras que Ritter o Kostadinova en ocasiones la alargan. Como valores generales de referencia para la antepenúltima zancada asigna una amplia horquilla que va de los 1.55-2.11 metros, para la penúltima zancada, 1.57-2.11 metros y valores de 1.62-2.10 metros para la última zancada (Dapena)<sup>95</sup>.

Esta situación en la que cada saltador debe realizar un ritmo individual respecto a la amplitud de los dos últimos pasos, ya se daba entre los saltadores que empleaban el rodillo ventral como técnica de salto. Así, Brummel alargaba significativamente el penúltimo paso respecto al último (2.25 - 2.30 metros vs. 1.90 - 1.92 metros), Ackerman hacía algo parecido (1.95 - 2.00 metros vs. 1.90 - 1.95 metros) y Matzdorf alargaba el último paso respecto al penúltimo (1.55 - 1.60 metros vs. 1.90 -1.95 metros). Los datos de Matzdorf, pese a ser un saltador efímero en la élite mundial y de ser un atleta que

<sup>&</sup>lt;sup>93</sup> Schubin, M. y B. Schustin, "Approaching heights -some model parameters of the high jump", *Modern Athlete and Coach*, Adelaida, Australia, vol. 31, núm. 2, 1993, pp. 31-33. [Este artículo es una traducción resumida del *Legkaya Atletika*, 1992.]

<sup>&</sup>lt;sup>94</sup> Tellez K., "Elements of the high jump", *Track Technique*, Mountain-View, California, núm. 125, 1993, pp. 3987-3990.

ejecutaba una forma peculiar de rodillo, han sido corroborados por diferentes estudios biomecánicos (Hay<sup>96</sup>; Kerssenbrock y Spilar<sup>97</sup>).

Ritzdorf y Conrad<sup>98</sup> indican que los saltadores que alcanzan las medallas en las grandes competiciones suelen mostrar un comportamiento diferente entre sí. El penúltimo paso suele ser más corto que el antepenúltimo, mientras que se mantiene el criterio de realizar una última zancada más corta. No obstante, la afirmación realizada por estos últimos autores no se corresponde siempre con los datos hallados en sus estudios donde se ve claramente que el ritmo aplicado a los dos últimos pasos depende de cada deportista. Bothsmichel<sup>99</sup> señala que la longitud de la última zancada debe ser un pie más corto que la longitud de la última. Durante el Campeonato del Mundo Junior<sup>100</sup>, atletas como Obukhova, Barnetson, Conway y Müller alargaron ligeramente su último paso (excepto, Conway que lo hizo con 44 centímetros), mientras que el resto de participantes en la final acortaron esa zancada, en particular, los saltos de Astafei (25 centímetros), Sotomayor (31 centímetros) y Golushkao (27 centímetros).

Una forma interesante de estudiar la longitud de la última zancada se consigue expresando su valor en el porcentaje que le corresponde respecto a la estatura del saltador. Los datos extraídos de una amplia bibliografía, se aproximan al 100%, aunque con ligeras variaciones en función del sexo, oscilando entre los varones entre el 108-112% o algo más frente a los 103-105% de las mujeres, como se ha señalado en el apartado sobre la longitud de las zancadas.

En la tabla siguiente, mostramos las longitudes de los dos últimos pasos según datos biomecánicos de Conrad y Rizdorf en nueve saltadores masculinos de nivel internacional durante los Juegos Olímpicos de Seúl y el Campeonato del Mundo de Roma.

Hay, J.G., "A Kinematic look at the high jump", Track Technique, núm. 53, 1973. p.1697-1703.
 Kerssenbrock, K. y Spilar. TT 1515. (1972).

<sup>98</sup> Ritzdorf, W., y A. Conrad, "Biomechanical análisis of the high jump", art. cit., p. 22.

Bothsmichel, V.E., art. cit., p.5.
 Conrad, A. y W. Ritzdorf, "High jump", opus cit., p.41.

Nombre	Campeonato	Autor	M.Marca	L. P.P.	L. U.P.	% L-Estatura	Dif (P-U)
Avdyenko	CM`87	Conrad-Rizdorf	2,38	2,53	2,04	100,99	0,49
Conway	JO,88	Conrad-Rizdorf	2,36	2,37	1,89	102,72	0,48
Matei	CM`87	Conrad-Rizdorf	2,32	2,32	2,07	112,50	0,25
Mógenburg	CM`87	Conrad-Rizdorf	2,35	2,49	2,03	101,00	0,46
Paklin	CM`87	Conrad-Rizdorf	2,38	2,44	2,18	113,54	0,26
Povarnitssyn	JO,88	Conrad-Rizdorf	2,36	2,41	2,19	108,96	0,22
Saunders	JO,88	Conrad-Rizdorf	2,33	2,04	1,98	105,32	0,06
Sjóberg	CM`87	Conrad-Rizdorf	2,42	2,25	1,95	97,50	0,30
Thránhardt	JO,88	Conrad-Rizdorf	2,35	2,19	2,14	108,08	0,05
Media			2,36	2,34	2,05	105,62	0,29
SD			0,03	0,16	0,10	5,53	0,05
Máximo			2,42	2,53	2,19	113,54	0,34
Mínimo			2,32	2,04	1,89	97,50	0,15

Tabla - 12. Longitudes de los dos últimos pasos y su relación con la estatura del saltador.

A modo de ejemplo, ilustramos valores y su correspondiente porcentaje con respecto a la estatura de un saltador (Conway) durante ocho años. Vemos que la longitud de la última zancada ronda el 100% de la estatura del atleta:

H. Conway	1986	1988	1992	1993	1994
Metros	1.99	1.89	2.11	2.00	1.94
% talla	108	103	115	109	105

Tabla -13. Longitud de la última zançada

Ya vimos como el penúltimo paso adquiere una gran importancia sobre la eficacia del salto. Durante el mismo, el saltador debe llevar el tronco recto, ligera inclinación hacia el interior de la curva, el C.M. bajo (120° ± 15 en la articulación de la rodilla durante la amortiguación) y con unos apoyos especialmente activos que provoquen fases de vuelo rasas y con una activa proyección de la cadera hacia delante. Hay que añadir, sin embargo, que algunos atletas empiezan a echar el tronco hacia atrás. En nuestra opinión, creemos que se debe a una falta de control frente a una excesiva velocidad. Para López<sup>101</sup>, incluso debe ir ligeramente adelantado.

La orientación de estos últimos apoyos hace que el saltador pase de una carrera casi perpendicular al listón a otra en la que cada vez se va situando más paralelamente al mismo. Dapena 102 habla de un ángulo entre 46°-73° entre el antepenúltimo paso (t3) y la

Lopez, F., et alii, opus cit. p.14.
 Citado en Challis, S. y F. Yeadon, art. cit., p. 20.

prolongación del listón;  $46^{\circ}$  -  $61^{\circ}$  para el penúltimo ( $t_2$ ) y de  $27^{\circ}$  -  $38^{\circ}$  para el último ( $t_1$ ). No obstante, observó menores grados para el ángulo que forma la trayectoria del C.M. en cada uno de estos tres últimos pasos en la récordwoman de la especialidad, Kostadinova,  $36.5^{\circ}$ ,  $26.0^{\circ}$  y  $19.8^{\circ}$  en un salto sobre 2.03 metros. También Ritzdorf y Conrad<sup>103</sup> encuentran valores inferiores entre las mujeres participantes en el Campeonato del Mundo de 1987 (Hombres:  $37^{\circ} \pm 6.97$ ; Mujeres:  $26.5^{\circ} \pm 9.90^{\circ}$ ).

Lucas<sup>104</sup> añade que este ángulo varía entre los saltadores que realizan un fosbury-flop velocidad y un fosbury-flop fuerza. Los primeros suelen presentar un ángulo, entre los dos últimos apoyos, próximo a los 30°, mientras que los segundos suelen presentar un ángulo más paralelo al listón. Ritzdorf y Conrad <sup>105</sup> señalan que los varones cambian la orientación de los últimos pasos de una manera más brusca que las mujeres. Esto podría beneficiarles, siempre que se pueda mantener la adecuada inclinación del cuerpo hacia el interior de la curva y el adecuado impulso vertical, a la hora de envolver el listón, aunque también les obliga a provocar un mayor momento angular en el eje longitudinal del tronco para poder colocarse de espaldas al listón.

## Colocación del pie en el punto de batida

La ubicación del pie de batida con respecto al listón nos da una información muy útil sobre la eficacia de la batida y sobre el riesgo que puede presentar dicha posición para la articulación tibio-astragalina. En aras de evitar lesiones del tobillo y del pie, ya que la pronación fisiológica es inevitable y son muy dificiles de detectar sin la tecnología adecuada, es posible estudiar los ángulos del eje longitudinal del pie respecto a la carrera, al listón y/o a la impulsión. En la bibliografía especializada se emplean los ángulos que a continuación se detallan y que plasmamos en el dibujo siguiente:

- e<sub>1</sub> es el ángulo entre el eje longitudinal del pie y una paralela al listón que pasa por el centro del pie;
- e<sub>2</sub> es el ángulo entre el eje longitudinal del pie y la dirección final de la carrera y,

<sup>&</sup>lt;sup>103</sup> Ritzdorf, W. y A. Conrad, "Biomechanical análisis of the high jump", *opus cit.*, p.1-49. Lucas, J., *art. cit.*, pp. 36-39.

<sup>&</sup>lt;sup>105</sup> Ritzdorf, W. y A. Conrad, opus cit., p. 30.

• e<sub>3</sub> es el ángulo entre el eje longitudinal del pie y la trayectoria de la fuerza horizontal ejercida sobre el pie de batida, desde un punto medio del pie.

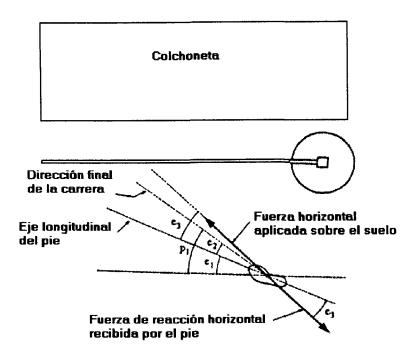


Fig. 11. Orientación del pie de batida.

Después de colocar el pie en el suelo, el saltador empuja a éste en dos direcciones: una horizontalmente y otra verticalmente hacia abajo. El empuje horizontal normalmente se desvía ligeramente hacia el foso de caída, alejándose la dirección de su vector de fuerza del eje longitudinal del pie y de la dirección final de la carrera de impulso (Dapena<sup>106</sup>, Krahl and Knebel<sup>107</sup>, Muraki *et alii*<sup>108</sup>). Lo deseable es que los atletas colocaran el pie de batida de tal forma que el eje longitudinal del pie esté alineado con la dirección final de la carrera. Sin embargo, la mayoría de los saltadores colocan el pie alejándolo de su eje longitudinal. Por este motivo, la fuerza de reacción que se genera en el suelo por efecto del empuje horizontal, al no estar alineado con el

<sup>&</sup>lt;sup>106</sup> Dapena, J. R.M. Angulo-Kinzler, J.M. Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A., Prat, *Track and Field: High Jump (Men and Women), opus cit.*, p. 11-12.

<sup>&</sup>lt;sup>107</sup> Krahl, H., y K.P. Knebel, "Medizinische and trainingmethodische. Aspecte der absprungphase beim Flop", *Leistungssport*, núm. 6, 1978, pp. 501-506.

<sup>&</sup>lt;sup>108</sup>Muraki, Y., T. Sakamoto, S. Saito, M. Ae y K. Shibukawa, A 3-Dimensional cinematographical analysis of foot deformations during the take-off phase of the Fosbury – Flop. In: Matsui, H. and Bobayashi, K. (eds.) Biomechanics VIII-A & B, proceedings of the VIII International Congress Biomechanical, Nagoya, Japón., Champaign, Ill, Human Kinetics Publishers, 1983c, pp. 762-770.

eje longitudinal del pie, provoca una pronación de la articulación del tobillo, que de ser muy severa, puede llegar a dañar esa estructura.

Para el diagnóstico del grado de pronación que sufre la articulación tibioastragalina se utiliza el valor de e<sub>3</sub>. Dapena aconseja que no sea excesivamente elevado,
procurando que se acerque lo máximo posible a la dirección del final de la carrera de
impulso. Valores que no superen los 20° son considerados seguros para el pie del atleta;
valores entre 20-25° suponen cierto riesgo y superar los 25° supondría un grave riesgo
para el pie y el tobillo. El valor de "e<sub>1</sub>" proporciona información sobre la parte del pie
que más cerca está del listón, de forma que si ésta fuera el talón, sabremos que ese pie
ha entrado demasiado paralelo y que, posiblemente, va a provocar un valor de "e<sub>3</sub>"muy
grande.

En la Olimpiada de Barcelona-92, Dapena<sup>109</sup> et alii arrojan datos de trece atletas masculinos de categoría internacional donde se obtuvieron los siguientes valores promedio: e<sub>1</sub>: 12.77° (rango: 30° a -9°); e<sub>2</sub>: 26.31° (rango: 39° a 11°); e<sub>3</sub>: 31.15° (rango: 41° a 8°); y en el mismo informe para dieciséis saltadoras: e<sub>1</sub>: 20.56° (rango: 42° a 7°); e<sub>2</sub>: 18.69° (rango: 32° a -1°); e<sub>3</sub>: 21.81° (rango: 38° a 3°). De estos datos se desprende la evidente variabilidad que se da entre los dos géneros y muy especialmente, en los valores promedio de "e<sub>3</sub>" que están por encima del máximo deseable en los varones.

Este comportamiento irregular también se da al analizar los datos de un mismo saltador medidos en diferentes competiciones. En cinco saltos medidos a Conway en competiciones americanas en 1986, 1988, 1991 y durante los J.J.O.O. de Barcelona-92, los valores de e<sub>1</sub> fueros de 16°, 8°, 0°, 4° y -9° respectivamente, mientras que los valores de "e<sub>2</sub>"y "e<sub>3</sub>"mostraron las siguientes magnitudes: 24°, 33°, 35°, 29° y 39°, frente a 26°, 28°, 31°, 29° y 35°, hallados en los mismos saltos.

<sup>&</sup>lt;sup>109</sup> Dapena, J. R.M. Angulo-Kinzler, J.M. Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A. Prat, opus cit., p. 4.

## Distancia frontal de batida

La distancia de batida hace referencia al espacio que separa el pie de contacto de la proyección del listón. Sabemos que precisar la medida ideal no es fácil, ya que va a estar en función de varios parámetros: la velocidad horizontal del atleta, la dirección final de su carrera, la estatura y envergadura del saltador y la altura del listón a franquear. La decisión final debería vincularse al nivel condicional y técnico del atleta, teniendo en cuenta que el objetivo de la determinación de este punto es lograr que la cima de la parábola de vuelo quede sobre la vertical del listón. Normalmente, esta distancia frontal oscila entre 60 y 90 centímetros en las mujeres y de 80 a 110 centímetros en los hombres, tal y como se contempla en las siguientes tablas:

HOMBRES								
Atleta (nombre)	Competición (Lugar - Año)	H-Listón (metros)	Estatura (metros)	Distancia (metros)	Estatura (%)			
Conway	T-86	2,25	1,84	1,09	59,24			
Conway	T-88	2,29	1,84	1,15	62,50			
Conway	T-88	2,32	1,84	1,16	63,04			
Conway	T-91	2,32	1,84	0,98	53,26			
Conway	JO-92	2,34	1,84	0,94	51,09			
Dakov	JO-92	2,24	1,95	0,96	49,23			
Drake	JO-92	2,28	1,93	0,87	45,08			
Forsyth	JO-92	2,34	1,97	0,91	46,19			
Kemp	JO-92	2,31	1,84	1,15	62,50			
Matei	CM-87	2,36	1,84	1,04	56,52			
Matei	JO-92	2,24	1,84	0,88	47,83			
Partyka	JO-92	2,34	1,91	1,01	52,88			
Sjöeberg	CM-87	2,32	2,00	0,93	46,50			
Sjöeberg	JO-92	2,34	2,00	0,77	38,50			
Smith	JO-92	2,31	1,85	1,01	54,59			
Sonn	JO-92	2,31	1,97	0,71	36,04			
Sotomayor	CM-87	2,34	1,94	1,08	55,67			
Sotomayor	JO-92	2,34	1,94	0,84	43,30			
Торіс	JO-92	2,28	1,97	0,99	50,25			
Media		2,31	1,90	0,97	51,27			
SD		0,04	0,06	0,13	7,75			

Tabla - 14. Distancia de batida.

MUJERES								
Atleta (nombre)	Competición (Lugar - Año)	H-Listón (metros)	Estatura (metros)	Distancia (metros)	Estatura (%)			
Astafei	JO-92	1,94	1,84	0,92	55,27			
Astafei	JO-92	2,00	1,84	0,88	55,23			
Bilac	JO-92	1,83	1,81	1,00	56,25			
Costa	JO-92	1,94	1,79	0,97	56,84			
Gotovska	JO-92	1,83	1,76	0,72	57,54			
Henkel	CM-87	1,91	1,82	0,82	55,77			
Henkel	JO-92	1,91	1,82	0,83	55,78			
Henkel	JO-92	2,02	1,82	0,94	55,89			
Hughes	JO-92	1,88	1,87	0,77	54,25			
Inverarity	JO-92	1,91	1,81	0,65	55,90			
Jancewick	JO-92	1,88	1,86	0,97	54,73			
Kähler	JO-92	1,81	1,83	1,01	55,65			
Kirchmann	JO-92	1,94	1,81	0,81	56,06			
Kostadinova	CM-87	2,04	1,80	0,98	56,54			
Kostadinova	JO-92	1,94	1,80	0,84	56,40			
Marti	JO-92	1,91	1,73	0,72	58,52			
Quintero	JO-92	1,97	1,80	0,75	56,31			
Sato	CM-87	1,88	1,75	1,11	58,25			
Sato	JO-92	1,91	1,75	1,10	58,24			
Shevchik	JO-92	1,83	1,78	0,76	56,94			
Turchack	CM-87	1,91	1,90	0,86	53,49			
Turchack	JO-92	1,83	1,90	1,11	53,74			
Media		1,91	1,81	0,89	56,07			
SD		0,06	0,04	0,13	1,35			

Tabla - 15. Distancia de batida.

Observando las tablas anteriores correspondientes a un informe elaborado por Dapena $^{110}$  et alii, nos muestran que la distancia del pie de batida se encuentra a 0.97  $\pm$  0.13 metros (hombres) (rango: 0.77-1.16 metros) y 0.89 ( $\pm$  0.13) metros (mujeres) (rango: 0.72-1.11 metros). Podemos decir que la distancia se aproxima a un 51.27 %  $\pm$  7.75 % de la estatura en varones y a un 56.07 % de la estatura  $\pm$  1.35 en mujeres

<sup>&</sup>lt;sup>110</sup> Dapena, J., R.M. Angulo-Kinzler, J.M., Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A., Prat, opus cit., p.4.

## METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ESTUDIO DE LA CARRERA

El objetivo de esta parte del estudio es: (1) analizar la carrera de impulso y cada una de sus fases en deportistas de alto nivel, a partir de la comparación del modelo biomecánico mostrado por saltadores de categoría nacional respecto a valores que aparecen en la bibliografía y que pertenecen a deportistas internacionales que tienen un buen nivel de rendimiento; (2) validar, para los sujetos de nuestra muestra, la ecuación que propone Dapena *et alii*<sup>111</sup> en la que relacionan el radio de la curva, la velocidad de carrera y el índice de inclinación del deportista durante la misma.

## Muestra utilizada en el proyecto de batida

Para ello se ha hecho un análisis descriptivo de los parámetros biomecánicos observados durante la carrera de impulso de los mejores saltos realizados por diez varones (2.13; ± 0.08 metros) y siete mujeres (1.74; ± 0.06 metros) finalistas del Campeonato de España de Atletismo al Aire Libre celebrado en Salamanca en el verano de 1997.

CATEGORÍA MASCULINA							
Muestra Nacional	NúmeroResultado (metros) $10$ $2.13 \pm 0.08$		Rango (metros) 2.26 - 2.04				
(total de atletas y saltos)							
	CATEGORÍ	A FEMENINA					
Muestra Nacional	Número	Resultado (metros)	Rango (metros)				
(total de atletas y saltos)	7	1.74 ± 0.06	1.83 – 1.67				

Tabla - 16 Características de la muestra.

#### **MATERIAL**

El material de filmación, calibración, digitalización y valoración, ya han sido descritos en el apartado general de metodología y diseño utilizado en la tesis, por lo que, para no

<sup>&</sup>lt;sup>111</sup> Dapena, J., M. Ae y A. Iiboshi, "A closer look at the shape of the high jump run-up", art cit., pp. 4409.

repetir todo su extenso contenido, debe ser leído en el capítulo 1 del bloque de Metodología de esta tesis.

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Los datos, una vez establecidos y ordenados para cada parámetro, fueron almacenados en una base de datos (Excel de Microsoft) y posteriormente analizados mediante un paquete informático de estadística (SPSS 11.0 para Windows). Los estadísticos utilizados en este capítulo han sido explicados en el capítulo específico de metodología (páginas 55-56). No obstante, con el fin de facilitar la lectura, consideramos procedente repetir aquellos empleados en este capítulo.

## Estadística descriptiva

Este tratamiento ha sido el más utilizado a la hora de analizar las características de la carrera de impulso en el salto de altura estilo *fosbury-flop* para interpretar, generalizar y conocer la variabilidad de los parámetros de nuestro estudio y se emplea como valores de uso las medias y las desviaciones típicas de los mismos.

## Estadística inferencial

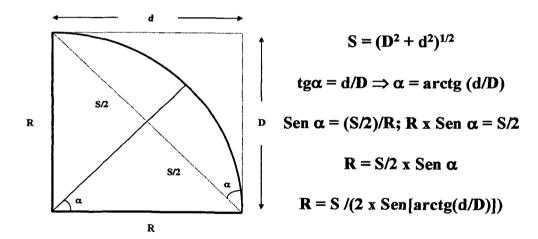
Como estadísticos comparativos se utilizaron correlaciones para relacionar variables que lo precisaron; cabe destacar las velocidades de carrera utilizadas por los sujetos de la muestra y los grupos de referencia correspondientes a deportistas internacionales de mayor nivel. Además, se precisó, según los casos, de análisis no paramétricos con los que evaluar las variables analizadas en cada capítulo.

Los métodos no paramétricos representan pruebas equivalentes a t-Student y las estimaciones de parámetros correspondientes a series que presentaban distintas distribuciones, en las que se consideró el criterio de la media por estimar que este valor coincidía con la mediana. Básicamente, nos apoyamos la prueba de U de Mann-Whitney por ser una prueba más potente que las de la mediana que mide series diferentes de la misma población empleando, en este caso, los rangos de los casos.

Como ya se explico en el capítulo específico de metodología, en los casos necesarios, se hizo una prueba de contraste de normalidad para las series analizadas (test de Kolmogorov-Smirnov). La prueba de normalidad (distribución normal o Gausiana) es necesaria para la interpretación de las distribuciones continuas de probabilidad, la aplicación de inferencias en el análisis de los datos y la selección de las pruebas adecuadas de acuerdo a la forma en que se distribuyen los datos de la muestra.

## Cálculo de los radios

Los radios de la trayectoria de la carrera de impulso se calcularon a partir de cálculos trigonométricos donde se determinó el radio del arco de la circunferencia descrito por los saltadores/as en esta fase de la carrera. Hemos considerado que se realiza un recorrido de radio fijo entre el inicio y el final de la misma. En la gráfica siguiente se presenta, a modo de esquema, los pasos seguidos para el cálculo de los radios.



La discusión de los datos obtenidos en nuestro trabajo de campo sobre la carrera de impulso hacia el punto de batida se explicará en diferentes apartados que responden al orden expuesto en el capítulo correspondiente a la fundamentación teórica. En ella se llevó a cabo la revisión de los aspectos específicos que podemos encontrar en las fuentes bibliográficas y experimentales de que disponemos en relación con la carrera de impulso. Por tal motivo, el apartado quedará organizado de la siguiente manera:

- Características de la carrera de impulso utilizada por los sujetos utilizados en nuestra muestra
  - Longitud y forma de la carrera;
  - Separación lateral entre la carrera recta y la prolongación del listón;
  - La forma utilizada en la trayectoria descrita en la carrera;
  - El radio real de la curva utilizado en la carrera de impulso;
    - Validación de la propuesta de Dapena e Iiboshi con nuestra muestra: análisis comparativo de la ecuación para la determinación del radio óptimo;
      - Análisis del criterio velocidad de carrera;
      - Valor de Q a partir de los valores reales de nuestra muestra;
      - Correlación del radio real con los ángulos t<sub>1</sub> y P<sub>1</sub>;
      - Relación entre los momentos angulares frontales y laterales y el radio de la carrera curva,
- La velocidad de entrada a la batida y su relación con la altura de salto
  - Evolución de la velocidad en la carrera de impulso;
  - La amplitud de las zancadas;
  - La frecuencia de paso;
    - Relación entre los tiempos de contacto y la frecuencia de paso;
  - Trayectoria de los últimos apoyos de la carrera;

- Trayectoria de los últimos apoyos y trayectoria del C.M.;
- Las inclinaciones durante la carrera de impulso;
- La preparación de la batida
  - La longitud de las dos últimas zancadas;
  - La orientación de los apoyos en la batida;
  - La distancia frontal de la batida:

## CARACTERÍSTICAS DE LA CARRERA DE IMPULSO UTILIZADA POR LOS SUJETOS UTILIZADOS EN NUESTRA MUESTRA

Tradicionalmente, los practicantes de cualquier modalidad deportiva o especialidad atlética tratan de adaptar aquellos modelos técnicos estandarizados que han demostrado ser óptimos para mejorar el rendimiento. Este fenómeno se da de forma más intensa entre aquellas especialidades en las que las técnicas deportivas responden a gestosformas cerradas en las que los cambios en la ejecución son muy limitados. El salto de altura es una de estas modalidades deportivas, como lo confirma el hecho de que casi la totalidad de atletas experimentados empleen el *fosbury-flop*, salvo escasas excepciones en las que aún es posible encontrar algún atleta que sigue practicando el rodillo ventral.

Tal circunstancia conduce a la mayor parte de los saltadores a elegir modelos de aproximación que presentan muy pocas variaciones externas entre sí. No obstante, pese a esa estabilidad, es en los aspectos mecánicos intrínsecos a la carrera donde verdaderamente podemos encontrar las principales diferencias entre uno y otro atleta. De todos ellos, la velocidad de entrada a la batida es el más importante a la hora de lograr un salto verdaderamente eficiente que permita al saltador alcanzar alturas suficientes para poder competir a un nivel elevado.

La carrera de impulso utilizada en el salto de altura, tal y como hoy se conoce, se debe caracterizar por ser una carrera que cumpla los criterios de ser controlada, progresiva y armónica, de forma que permita al deportista alcanzar el punto de batida en las mejores condiciones y a una velocidad lo más elevada posible (>7.5-8.0 m.s<sup>-1</sup> entre saltadores masculinos de alto nivel y >7.0 m.s<sup>-1</sup> en el caso de las mujeres). Sin embargo,

este objetivo mecánico no es fácil de conseguir y sólo algunos de los atletas internacionales más experimentados alcanzan, con eficacia, velocidades tan elevadas en el momento de llegar al punto de batida.

## Longitud y forma de la carrera

La longitud y forma de una carrera de impulso depende, muy directamente, del perfil del saltador y de su nivel de rendimiento. Por regla general, suele presentar una longitud que, habitualmente, oscila entre las ocho y las doce zancadas y cuya magnitud total varía según el trazado que realice el saltador en su aproximación al listón. En cualquier caso, estos valores de referencia se pueden alterar o corregir para cada saltador, o incluso, para un mismo saltador, según distintas circunstancias que puedan rodear la competición en la que se ejecuta el salto (momento de la temporada, estado de forma, condiciones climatológicas, etc.).

Sin embargo, la mayor parte de los entrenadores coinciden en señalar una serie de aspectos que resultan determinantes para lograr una carrera de impulso idónea para lograr una batida potente y eficaz. De entre todos ellos podemos destacar los siguientes:

- El grado de conocimiento del gesto y su técnica;
- La capacidad de desarrollar y controlar la velocidad adecuada;
- El potencial de correr adecuadamente con una trayectoria curva;
- La capacidad de crear y automatizar un ritmo óptimo (amplitud/frecuencia);
- Ser capaz de conseguir un equilibrio correcto entre la velocidad de carrera y la capacidad de transformación en salto durante la batida.

No obstante, pese a la variabilidad existente, la carrera de impulso que utiliza un saltador, en lo formal, varía poco de una competición a otra. Una vez que un sujeto se especializa en esta modalidad atlética, las oscilaciones en la longitud de la carrera no son muy grandes, ya que si hacemos un repaso de lo que habitualmente ocurre en la pista de atletismo, rápidamente nos damos cuenta de que, ésta no suele aumentar en más de 2-5 pasos a lo largo de toda su vida atlética. Pero también es cierto, dentro de una misma temporada, u otro período de tiempo más corto, la longitud de una carrera puede sufrir ligeras alteraciones por diferentes motivos. De entre todos ellos, podemos

destacar los siguientes: condiciones climatológicas (viento y/o agua, temperatura), estado de forma, características de la competición (prueba de clasificación, entrenamiento o gran competición), etc.

El motivo de estas oscilaciones en la longitud y la forma en cómo se realiza esta fase del salto no tiene otra finalidad que preparar adecuadamente la fase siguiente. Esta es la ya comentada fase de batida, cuya dificil secuencia de movimientos requiere de la máxima precisión respecto al punto donde la misma se ejecute. Por esta circunstancia y en razón de las características de las acciones que en ella se efectúan, el estilo habitual de correr sufre una significativa modificación. Esto hace que se cree una situación de compromiso entre la carrera y la batida que exige un elevado control muscular y un adecuado entrenamiento específico que permita transformar correctamente la velocidad horizontal en velocidad vertical y proyectar, así, el C.M. al punto más elevado posible de la parábola de vuelo.

Lógicamente, en el caso de nuestro estudio, todos los participantes utilizaron la carrera más larga de la temporada, aunque por razones de espacio, alguno de los saltadores masculinos se vio obligados a correr en diferentes tipos de suelo en las distintas partes de carrera. Recordemos, que en esta competición, los concursantes solicitaron cambiar la posición del foso de caída para no hacer la aproximación con un ligero viento en contra que se daba en el día de la competición. Por tal motivo, estos atletas iniciaban la carrera en el césped del estadio y se dirigían al foso situado en la parte curva de la zona de saltos.

# Separación lateral entre la carrera recta y la prolongación del listón

La mayor parte de los teóricos y entrenadores recomiendan que la distancia existente en la proyección perpendicular que va desde el punto donde el saltador inicia la carrera de impulso y la prolongación longitudinal del saltómetro, deberá tener una longitud que fluctúe entre los 15-25 metros, asegurándose de que esta línea imaginaria quede separada unos 4-6 metros del saltómetro que corresponde al lado por donde el saltador realiza la carrera de impulso. Esto permite al deportista poder ejecutar las dos trayectorias que caracterizan la carrera de impulso en el salto de altura estilo fosbury-flop: parte recta y parte curva.

La trayectoria que realice el saltador, en la fase recta de la carrera, no siempre será perpendicular al listón (primera parte de la carrera), siendo corriente que entre el punto de inicio de la carrera y el punto de inicio de la curva exista una distancia que oscila entre 0.5-1.0 metros respecto a una línea imaginaria que fuese perpendicular a la proyección del listón (desviación hacia el exterior de la carrera). Estos valores son válidos para saltadores masculinos, pero entendemos que frecuentemente resultan excesivos para deportistas femeninos, tanto en la *profundidad* como en la *anchura* de la carrera de impulso.

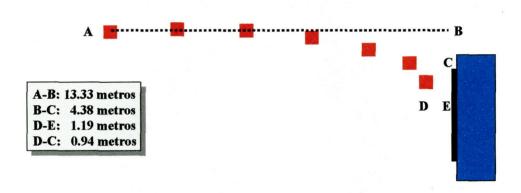
Separación Lateral Respecto	Separación Lateral Respecto al Punto de la Batida (metros)					
Hombres	Mujeres					
Grupo Experimental	Grupo Experimental					
$4.45 \pm 0.72$	$3.74 \pm 0.80$					
Separación Lateral Entre la Car	rera Recta y la Diagonal (metros)					
Hombres	Mujeres					
Grupo Experimental	Grupo Experimental					
$0.92 \pm 0.45$	$0.346 \pm 0.170$					

Tabla – 17. Separación del punto de batida.

De acuerdo a los valores iniciales de referencia planteados, vemos como las mujeres de nuestro estudio hacen una carrera de impulso donde la parte recta se realiza con poca separación respecto del saltómetro más cercano (3.74 metros), lo que lógicamente afectará al radio de la curva que describa en la posterior fase de la carrera. Sólo las atletas CC, VF y CT entran dentro de los valores estimados como ideales para este parámetro. Sin embargo, desde nuestro punto de vista, los valores de la muestra aunque bajos se aproximan bastante con los que pudiéramos considerar óptimos para ellas, especialmente si tenemos en cuenta su baja velocidad de aproximación (6.38 m/s) y el nivel de rendimiento que presentan.

En el caso de la muestra masculina analizada, nos encontramos con una situación similar a la que observamos en las mujeres. Nuestros saltadores presentan carreras que, aunque en lo formal dentro de la normalidad, muestran valores próximos al límite más bajo respecto a la separación lateral ( $4.45 \pm 0.72$  metros) de la trayectoria recta de la carrera. Aquí también podemos comprobar que la velocidad con la que entran a la batida es significativamente más baja ( $6.85 \pm 0.43$  m.s<sup>-1</sup>; p<0.002) respecto a la que suelen alcanzar varones de nivel internacional.

Trayectoria de los seis últimos pasos de la carrera de aproximación de Arturo Ortiz en un salto sobre 2.26 metros



A: Inicio de Carrera; B: Intersección entre la proyección de A respecto a la prolongación del listón; C:Saltómetro más cercano; D: Punto de Batida; E: Listón

Figura – 12. Ejemplo de travectoria de la carrera de impulso de un sujeto de la muestra

Un ejemplo evidente de este comportamiento lo encontramos en AO, saltador con una mejor marca de 2.31 metros y con buenos resultados en el ámbito internacional. Como se desprende de la gráfica anterior, en la que se representa la trayectoria y magnitud de los seis últimos pasos de un salto sobre una altura de 2.26 metros, la separación lateral de la carrera es de 4.38 metros, lo que representa una separación lateral no demasiado pronunciada.

# La forma utilizada en la trayectoria de la carrera

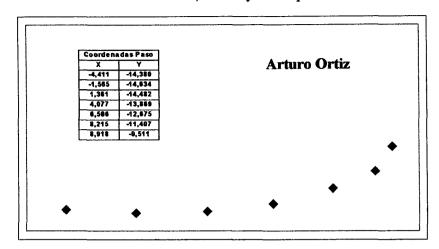
Ya vimos como en los últimos siete lustros la forma que toma la carrera en Flop ha evolucionado progresivamente buscando conseguir mayores velocidades en el momento de llegar al punto de batida. De la carrera curva se ha pasado a la carrera en J y la parábola. Este comportamiento se repite a la hora de analizar la trayectoria que recorren los saltadores/as de la muestra utilizada en nuestro estudio. En nuestro caso, observamos que, entre los varones, seis hacen una carrera parabólica, frente a cuatro que la hacen en J y ninguno de ellos efectúa una curva completa entre el principio y final de la carrera. Por otro lado, entre las saltadoras de la muestra femenina, cinco hacen una carrera parabólica frente a dos que la hacen en J y ninguna curva.

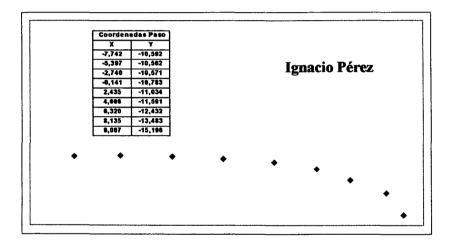
	Hombres	Mujeres			
Sujeto	Carrera	Sujeto	Carrera		
AO	Parabólica (5 pasos)	MM	Parabólica (5 pasos)		
IP .	Parabólica (6 pasos)	CC	Curva / Parabólica (5 pasos)		
GB	Parabólica (5 pasos)	MMM	Parabólica (4 apoyos)		
AB	Jota (5 pasos)	AMO	Jota (5 pasos)		
MP	Parabólica (6 pasos)	CT	Jota (6 pasos)		
СР	Jota (5 pasos)	VF	Parabólica (6 pasos)		
JR	Parabólica (6 pasos)	AMA	Parabólica (6 pasos)		
RL	Jota (6 pasos)				
OG	Parabólica (5 pasos)				
A	Jota (6 pasos)				

Tabla – 17. Características de la trayectoria de la carrera de impulso en nuestra muestra (H-M).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> En el caso de la atleta CC se observa una carrera que si bien se puede considerar parabólica, presenta una cierta tendencia a realizar una curva no muy acentuada a lo largo de casi toda la trayectoria de aproximación analizada.

Fig. 13, 14 y 15. Trayectoria de los últimos pasos de las carreras de aproximación de A. Ortiz, I. Pérez y G. Bécquer.





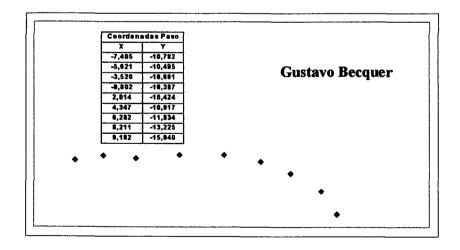
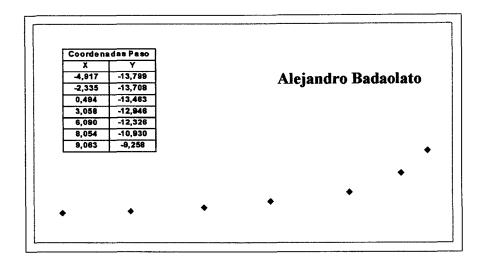
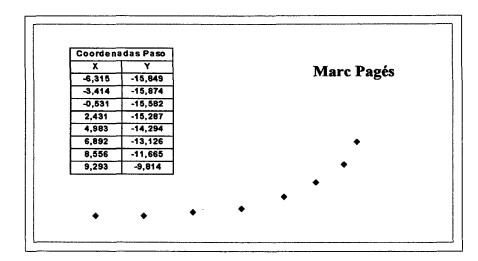


Fig. 16, 17 y 18. Trayectoria de los últimos pasos de las carreras de aproximación de A. Badalato, M. Pagés y C. Peña.





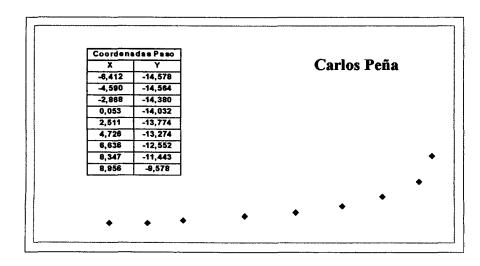
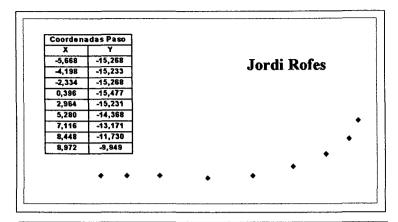
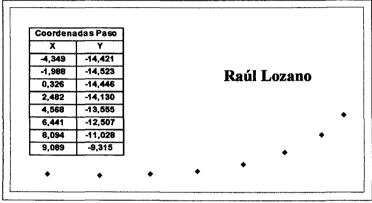
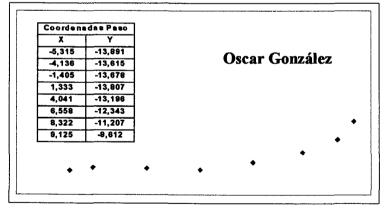




Fig. 19, 20, 21 y 22. Trayectoria de los últimos pasos de las carreras de aproximación de R. Rofes, R. Lozano, O. González y E. Aramburuzabala

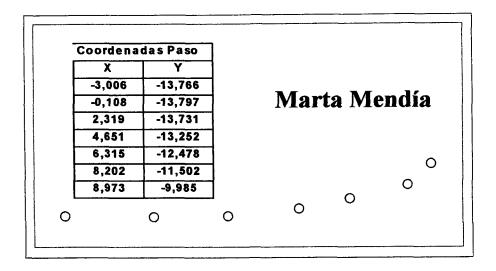


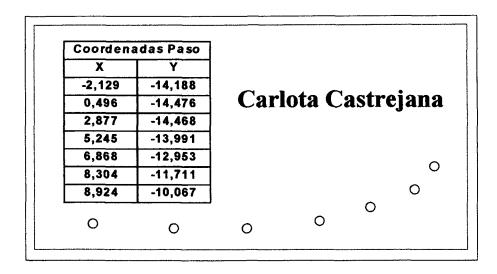




	das Paso	Coordens
	Y	X
	-13,660	-4,660
Aramburuzaba	-13,620	-2,570
	-13,480	-0,180
	-13,180	1,960
	-12,530	4,120
	-11,820	6,150
	-10,620	8,040
•	-8,920	8,780
•		
•		
	•	

Fig. 23, 24 y 25. Trayectoria de los últimos pasos de las carreras de aproximación de M. Mendía, C. Castrejana y M.M.Martínez





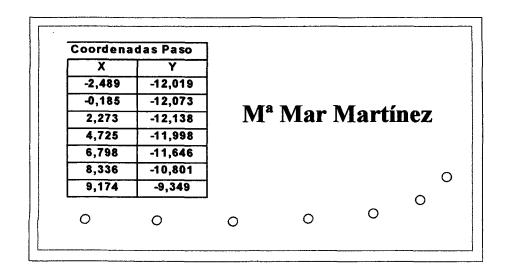
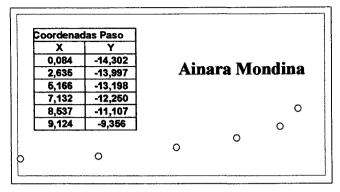
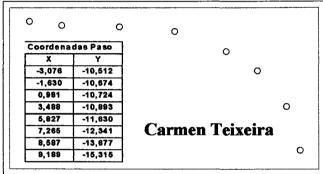


Fig. 26, 27, 28 y 29. Trayectoria de los últimos pasos de las carreras de aproximación de A. Mondina, C. Teixeira, V. Fernández y A. Manresa





Coordenadas Paso						
Х	Y	1				
-2,896	-13,687	1				
-0,693	-13,759	1				
1,343	-13,782	1	Victor	io To	á-	. dos
3,359	-13,501	1	A ICTOL	ій ге	LUAI	lutz
5,210	-12,789	1				
6,779	-11,703	1				
8,247	-18,571	1				_
9,072	-9,012	1			_	0
,	-	-		0	0	
<b>)</b>	0	0	0	0		
*	•	0	-			

		das Paso	ordena
		Υ	Х
		-13,876	-0,152
tina Man	A on	-13,909	1,911
stina Man	Agu	-13,620	3,703
		-13,002	5,324
		-12,072	6,722
		-10,989	8,246
0		-9,380	9,094
0	0	0	0

# El radio real de la curva utilizado en la carrera de impulso

Es razonable pensar que la menor velocidad de aproximación de los saltadores y saltadoras nacionales estudiadas se acompañe de unos radios más pequeños en los arcos de circunferencia que describen durante la fase curva de la carrera de aproximación. Esta hipótesis de partida se puede comprobar con la medición directa desde el punto donde se inicia la trayectoria curva (últimos cuatro a cinco pasos), considerando que la trayectoria total hasta el punto de batida corresponde a un arco de circunferencia de radio fijo. Dapena *et alii*<sup>2</sup> explican que los atletas que van más paralelos a la barra, corren con un radio más cerrado y también necesita menor momento angular frontal y más momento angular lateral para sobrepasar el listón. En estas condiciones, los datos que se describen en la tabla siguiente, corresponden a los valores obtenidos en los sujetos de la muestra masculina (columnas de la izquierda) y de la muestra femenina (columnas de la derecha).

	Hombres	Mujeres		
Sujeto	Radio (cinco pasos)	Sujeto	Radio (cinco pasos)	
AO	13.28 metros	ММ	12.72 metros	
IP	11.69 metros	CC	10.26 metros	
GB	13.03 metros	MMM	9.93 metros (a)	
AB	10.84 metros (a)	AMO	10.73 metros	
MP	11.24 metros	СТ	9.64 metros	
СР	7.06 metros	VF	8.65 metros	
JR	9.42 metros <sup>(a)</sup>	AMA	7.96 metros	
RL	10.04 metros	Media (SD)	9.98 (±1.53)	
OG	9.33 metros (a)			
A	11.08 metros			
fedia (SD)	10.70 (±1.85)			

Nota: (a) Últimos cuatro pasos

Tabla - 18. Radios de las curvas.

Sin embargo, como podemos comprobar, tanto la media masculina (10.70  $\pm$  1.53 metros), como la femenina (9.98  $\pm$  1.53 metros), entran dentro de los valores que,

desde el punto de vista teórico, corresponderían a sujetos de elevado nivel de rendimiento (H: 8.00-12.00 metros; M: 6.00-10.00 metros). Debemos darnos cuenta de que sólo un saltador (CP) presenta valores claramente inferiores a los que marcamos como límite inferior en el radio de la curva de aproximación, lo que puede quedar justificado por la escasa velocidad con la que entra a la fase de impulso (6.80 m.s<sup>-1</sup>).

En el extremo opuesto se encuentra la saltadora MM, que pese a mostrar un radio muy grande (12.72 metros) su velocidad de entrada, en el salto analizado, es significativamente baja (última zancada: 6.30 m.s<sup>-1</sup>; media cuatro últimas zancadas: 6.51 m.s<sup>-1</sup>; zancada más rápida (penúltima): 6.80 m.s<sup>-1</sup>). Esto nos debe hacer pensar que, en el intento analizado, la saltadora no entró todo lo rápido que hubiera podido, lo que nos obliga a comprobar otras variables que pudieran verse afectadas por este comportamiento. Una de las más interesantes es la inclinación lateral presentada durante las últimas zancadas de aproximación. En ellas vemos que es en el cuarto paso anterior a la batida, cuando esta saltadora inicia la inclinación del tronco hacia el interior de la curva, aumentando la misma de forma progresiva y suave hasta el momento de efectuar la batida (4ª-ZA: 15°; Antepenúltima: 16°; Penúltima: 17°; Última: 22°). Pese a ello, la magnitud de estas inclinaciones no es muy marcada, especialmente en los primeros pasos de la curva, lo que podría explicarse por la baja velocidad con la que realiza este recorrido.

La gráfica siguiente, en la que están representados todos los sujetos (hombres y mujeres) de nuestra muestra, y representa la relación entre el radio empleado en la curva y la velocidad de entrada a la batida, nos muestra que no se cumple la hipótesis de que a mayor velocidad de entrada mayor será el radio utilizado en la curva.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Dapena et alii, art. cit. p. 4411.

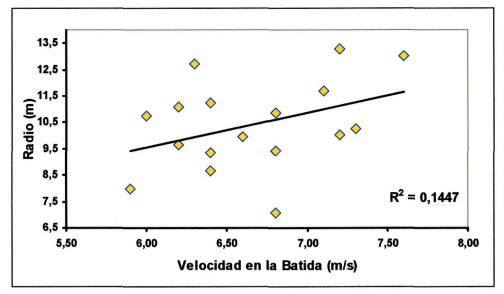


Fig. 30. Relación entre velocidad de batida y radio de la curva.

Sí aparece una tendencia algo más relevante a encontrar una relación entre el radio de la curva y la altura de salto, tal y como se refleja en la siguiente gráfica. Esto se manifiesta más intensamente en el caso del grupo femenino de saltadoras.

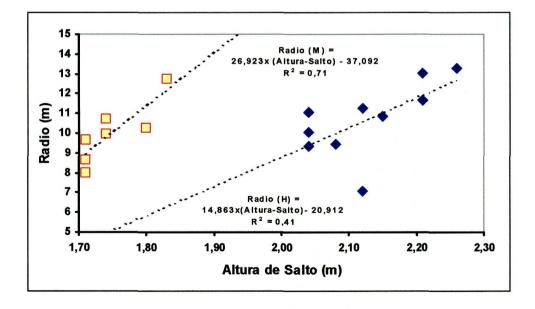


Fig. 31. Relación entre altura de salto y radio de la curva.

Da la impresión en los sujetos de nuestro estudio que el radio de la curva no obedece a necesidades reales derivadas de la velocidad con la que se corre la fase curva, sino que responde a criterios subjetivos impuestos por la altura que se desea saltar, incrementando el radio conforme aumenta este objetivo.

VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE DAPENA E IIBOSHI CON NUESTRA MUESTRA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ECUACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL RADIO ÓPTIMO

A nuestro juicio, una de las propuestas más interesantes que podemos encontrar sobre el radio de la carrera de impulso, en el estilo *fosbury-flop*, la encontramos en los trabajos ya citados de Dapena e Iiboshi. Estos autores plantean cómo determinar, de forma más fiable y precisa, la carrera de impulso, a partir de los datos suministrados por el análisis de imágenes grabadas de saltos en una muestra de saltadores (masculinos y femeninos) con un elevado nivel de rendimiento (nivel internacional). Para ello, los autores plantean una ecuación en la que relacionan el radio de la curva con la velocidad del atleta y un índice de inclinación lateral, por medio de la siguiente ecuación ( $\mathbf{R} = \mathbf{V}^2 / \mathbf{Q}$ ).

El ratio entre la velocidad y el radio de la curva tienen una elevada dependencia técnica, ya que para que ambos parámetros sean determinantes, deberán poseer valores relativamente elevados, lo que sólo está al alcance de los mejores saltadores.

#### Análisis del criterio velocidad de carrera

Para poder hacer una interpretación correcta de la ecuación anterior, lo primero que debemos dejar claro es a qué momento de la carrera de impulso hace referencia el valor de la velocidad que utilizan los autores en su propuesta. Debemos tener presente que no será lo mismo utilizar la velocidad del saltador al inicio de la curva que la media de esta trayectoria de la carrera, o que la velocidad en el momento de la batida o la velocidad utilizada en la preparación de la batida.

En ese sentido, en el trabajo original de Iiboshi *et alii*, utilizaron como criterio la velocidad al final de la carrera de impulso. Evidentemente, este criterio determina en gran medida los valores de referencia que dan como adecuados para el valor de Q.

Por esta razón nos planteamos comprobar, en primer lugar, si existían diferencias importantes del radio de la curva obtenido a partir de esta ecuación utilizando diferentes criterios de velocidad y los valores de referencia aplicados a Q. Recordemos, que aunque inicialmente el valor de Q se estimo en 4.5 m/s²,

posteriormente, este valor se ajustó según el sexo del atleta donde acordaron valores de  $6.8 \text{ m/s}^2 \pm 0.8 \text{ para los hombres y } 4.8 \text{ m/s}^2 \pm 1.0 \text{ para las mujeres.}$ 

Utilizamos tres criterios diferentes, todos expresados en metros: Radio 1: radio teórico en función de la velocidad final; Radio 2: radio teórico en función de la velocidad de los cuatro últimos pasos (cinco apoyos) y Radio 3: radio calculado cuando existe un cambio brusco en la dirección de los apoyos (inicio claro de la carrera curva).

	ном	BRES		MUJERES			
Atleta	Radio 1	Radio 2	Radio 3	Atleta	Radio 1	Radio 2	Radio 3
AO	7.62	8.93	8.20	MM	8.27	8,72	7.78
IP	7.41	7.91	11.60	CC	11.10_	9.60	6.30
GB	8.49	8.61	7.87	MMM	9.08	6.69	5.06
AB	6.80	6.86	6.73	AMO	7.50	6.71	10.7
MP	6.02	6.54	11.25	CT	8.01	6.06	5.90
СР	6.80	6.41	7.00	VF	8.53	8.27	8.65
JR	6.80	5.89	9.42	AMA	7.25	6.69	7.96
RL	7.62	7.88	10.00				
OG	6.02	5.41	9.30	i			
A	5.65	6.15	11.08				

Tabla – 19. Radios de la curva obtenidos por diferentes criterios de referencia.

Pese a las evidentes diferencias, en el caso de las mujeres no son estadísticamente significativas, mientras que en el caso de los varones entre R1 y R3 o las de R2 y R3, sí lo son (p<0.002 y p<0.004), respectivamente. Ahora bien, no ocurre lo mismo cuando se comparan R1 con R2. En cualquier caso, desde el punto de vista práctico, las diferencias sí son extremadamente importantes como para garantizar una carrera de impulso eficaz.

De cualquier manera, debemos tener presente que las discrepancias encontradas podrían ser debidas a un mal ajuste efectuado con el número de apoyos en curva, ya que el radio 2 es el radio calculado con la velocidad media de los últimos cinco apoyos antes de la batida, y dado que no todas las saltadoras corren una curva de 4 pasos, ésta situación podría justificar las variaciones manifestadas entre ambos protocolos. El radio

3 se determinó con el criterio de reconocer el inicio de la curva cuando el C.M. de cada paso se apartaba claramente de la trayectoria recta. Resultó que con este protocolo (R3) se lograron las mayores magnitudes de los radios y con fue el que más se acercó a los valores teóricos que tradicionalmente se emplean como referencia (H: 8-12 metros; M: 6-10 metros).

# Valor de Q a partir de los valores reales de nuestra muestra

Uno de los aspectos más importantes que podemos encontrar en la propuesta realizada por los mencionados investigadores es verificar si esos valores de referencia dados a Q, que a la postre hacen referencia a la inclinación que presenta el cuerpo durante la fase curva de la carrera, son aplicables a otras poblaciones con las características técnicas y de rendimiento que muestran los saltadores y saltadoras de máximo nivel nacional.

Hombres	Velocidad (m/s)	Radio (2) (m)	Q (m/s²)	Mujeres	Velocidad (m/s)	Radio (2)	Q (m/s <sup>2</sup> )
AO	7.2	8.23	6.30	MM	6.3	7.60	5.22
IP	7.1	7.27	6.93	CC	7.3	6.36	8.38
GB	7.6	7.88	7.33	MMM	6.6	9.93	4.39
AB	6.8	10.84	4.27	AMO	6.0	6.86	5.25
MP	6.4	7.04	5.82	СТ	6.2	5.88	6.54
СР	6.8	7.06	6.55	VF	6.4	5.88	6.97
JR	6.8	6,06	7.63	AMA	5.9	5.55	6.27
RL	7.2	10.04	5.16				
OG	6.4	9,33	4.39				
<b>A</b>	6.2	7.59	5.06				
Media	6.85	8.13	5.94	Media	6.39	6.87	6.14
(SD)	(0.44)	(1.50)	(1.20)	(SD)	(0.47)	(1.52)	(1.33)

Tabla - 20. Determinación del valor Q.

En nuestro estudio, el comportamiento observado en los hombres y las mujeres es diametralmente opuesto; los varones exhiben un valor claramente inferior  $(5.94 \pm 1.20 \text{ m/s}^2)$ , y las mujeres, un valor claramente superior  $(6.14 \pm 1.33 \text{ m/s}^2)$ , salvo en el

caso de las atletas MM y AMO, cuyas valores se encuentran muy cerca de los valores de referencia propuestos por los autores.

Esto nos lleva a pensar que es necesario elaborar valores de referencia diferentes para cada grupo de deportistas atendiendo a criterios como el sexo y el nivel de rendimiento. No obstante, las diferencias de los valores obtenidos en ambas muestras podrían ser de utilidad para identificar niveles de rendimiento del deportista. Lograr este objetivo precisa profundizar aún más en él, no siendo esto una de las finalidades de nuestro estudio.

# Correlación del radio real con los ángulos de t1 y P1

Ya vimos que en la bibliografía especializada se suele emplear las letras "P" y "t" para representar los ángulos en cada una de las zancadas (P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, etc,) formado por la trayectoria durante el vuelo del C.M. con respecto a la prolongación del listón, y "t<sub>1</sub>", "t<sub>2</sub>", "t<sub>3</sub>", etc., para definir los ángulos que conforman la línea que une dos apoyos consecutivos con respecto a la prolongación del listón, respectivamente. Como ya señalamos, según Dapena, estos ángulos deben ser de 44°-69° para la antepenúltima zancada (P<sub>2</sub>), 45°-58° para la penúltima (P<sub>1</sub>) y 32°-46° para la última (P<sub>0</sub>). Para t<sub>1</sub> propone 15° (±5°) menos que P<sub>1</sub>. En nuestro caso, de cara a analizar su relación con la ecuación de referencia que estamos evaluando, nos interesan los valores t<sub>1</sub> y P<sub>1</sub> obtenidos en nuestra muestra.

Hombres	t <sub>1</sub> (°)	P <sub>1</sub> (°)	Radio	Mujeres	t 1 (°)	P <sub>1</sub> (°)	Radio
AO	26°	41°	8.93	MM	26°	41°	8.72
IP	27°	43°	7.91	ccc	27°	43°	9.60
GB	30°	40°	8.61	MMM	30°	40°	6.69
AB	32°	49°	6.86	AMO	32°	49°	6.71
СР	23°	40°	6.54	СТ	24°	39°	6.06
MP	24°	39°	6.41	VF	23°	40°	8.27
RL	30°	41°	5.89	AMA	20°	34°	6.69
JR	20°	34°	7.88	Media (SD)	26.00	40.86	7.53
					(± 4.12)	± (4.53)	(±1.32)
OG	28°	45°	5.41				
Α	24°	39°	6.15				
Media (SD)	26.40 (±3.72)	41.10 (±3.98)	7.06 (±1.20)				

Tabla – 21. Trayectorias del C.M. (p) y los apoyos (t).

En la tabla anterior podemos comprobar como, entre los sujetos (hombres y mujeres) de nuestra muestra, el promedio de los valores de estos ángulos (H:  $t_1$ : 26.40°  $\pm$  3.72°;  $P_1$ : 41.10°  $\pm$  3.98°; M:  $t_1$ : 26.00°  $\pm$  4.12°;  $P_1$ : 40.86°  $\pm$  4.53°) coinciden plenamente con los de referencia anteriormente señalados ( $t_1$ : 25°  $\pm$  5°;  $P_1$ : 40°  $\pm$  5°). Sin embargo, contrariamente a lo que indican los autores, en nuestro caso no encontramos relación entre el valor del radio y los ángulos  $t_1$  y  $p_1$  o el diferencial de ambos (Hombres r = -0.29; Mujeres r = 0.36).

# Relación entre los momentos angulares frontales y laterales y el radio de la carrera curva

A diferencia de lo encontrado en el apartado anterior, si existe una correlación entre los valores de los momentos angulares frontales y laterales, de hombres y mujeres de nuestro estudio, y el radio de la curva utilizado en la carrera de impulso.

Entre los hombres, comprobamos que el momento angular frontal correlaciona con el radio de la curva (HF: 0.65 - p < 0.000), de forma similar, pero en relación inversa, a como lo hace el momento angular lateral (HL: -0.21 - p < 0.000).

Hombres	HF	HL	Radio	Mujeres	HF	HL	Radio
AO	72	85	8.93	MM	92	88	8.72
IP	63	89	7.91	cc	86	68	9.60
GB	80	99	8.61	MMM	80	90	6.69
AB	52	80	6.86	AMO	41	117	6.71
MP	61	80	6.54	СТ	79	126	6.06
СР	47	99	6.41	VF	102	111	8.27
JR	70	79	5.89	AMA	85	119	6.69
RL	58	75	7.88				
OG	49	103	5.41				
Α	55	99	6.15				

Tabla – 22. Momentos angulares frontales (HF) y laterales (HL) y radio de la curva.

Algo parecido ocurre al estudiar los valores presentados por estos parámetros en los sujetos del grupo femenino de la muestra de nuestro estudio. En este caso el grado de relación es aún más potente. El momento angular frontal correlaciona con el radio de la curva (HF: 0.47 – p< 0.000), mientras que el momento angular lateral presenta los siguientes valores (HL: -0.79 – p<0.000).

## LA VELOCIDAD DE ENTRADA A LA BATIDA Y SU RELACIÓN CON LA ALTURA DE SALTO

Hemos visto como la velocidad de entrada a la batida es el parámetro más importante en el resultado final de las disciplinas de salto. Partiendo de esta premisa, es lógico pensar que, al ser de menor nivel los saltadores de nuestra muestra, las diferencias en la velocidad de entrada sean evidentes y muestren valores estadísticamente significativos.

En nuestro caso, comparamos a los sujetos de nuestra muestra con los datos de dos grupos de referencia de nivel internacional. En el caso de los hombres, primer grupo estaba formado por los datos de los diez mejores saltos de los que disponíamos de información, mientras que el segundo correspondía a sesenta y siete saltos de atletas de nivel internacional. Las mujeres estudiadas se compararon con los datos de los diez mejores saltos encontrados en la bibliografía y con los de otro grupo de noventa y cinco saltos de especialistas de nivel internacional.

Velocidad de Entrada a la Batida, Media (m.s <sup>-1</sup> ) y Desviación Típica								
	Mujeres							
Grupo Experimental	Grupo Control-1	Grupo Control-2	Grupo Experimental	Grupo Control-1	Grupo Control-2			
6.85	7.50***	7.36 ***	6.38	7.04***	6.78***			
± 0.43	± 0.39	± 0.45	± 0.46	± 0.30	± 0.38			
N = 10	10	N = 67	N = 7	10	N = 95			

P<0.005: \*\*\*

Tabla – 23. Velocidades de entrada a la batida.

En los seis grupos de estudio (experimental y control de hombres o mujeres) tal y como se aprecia en la tabla anterior, los valores promedios de las velocidades con las que la mayoría de esos saltadores llegan a la batida se encuentran relativamente lejos de lo que pudiéramos considerar como ideales para poder aprovechar al máximo las características de la carrera en el salto de altura estilo *fosbury-flop*. Sólo en el caso de cuatro saltos pertenecientes a cuatro atletas diferentes (Sotomayor, Paklin, Mogemburg y Topic) se observan velocidades iguales o superiores a los deseables 8.00 m.s<sup>-1</sup>.

Debemos señalar también, que las velocidades medias que alcanzan los deportistas estudiados en nuestra muestra, tanto en hombres como en mujeres, presentan velocidades inferiores en 0.40-0.50 m.s<sup>-1</sup> respecto a los grupos de saltadoras/es internacionales utilizadas como grupos de referencia.

Entre los varones de máximo nivel internacional (10 saltadores) la correlación entre la velocidad de carrera y el resultado es de 0.60 (p<0.000), mientras que en la muestra nacional masculina los valores de la correlación fueron de 0.64 (p<0.000), demostrando la importancia que esta variable tiene en ambas muestras, pese a la diferencia de nivel existente entre ambas (2.357 metros vs. 2.127 metros). Entre nuestros saltadores, el valor de la correlación aumenta cuando comparamos la velocidad de entrada con la máxima altura que alcanza el C.M. en el punto más alto de la parábola de vuelo (r = 0.76; p<0.000).

En el caso de las mujeres, este modo de proceder no sigue un patrón similar al observado entre los hombres. En las saltadoras nacionales existe una relación directa entre la velocidad de carrera y la altura de salto o de elevación del C.M. (0.50 y 0.81; p<0.000), y en saltos de diez saltadoras con marcas de dos metros, no existe correlación entre las variables mencionadas.

# Evolución de la velocidad en la carrera de impulso

Hemos estudiado que a lo largo de la carrera de impulso la velocidad aumenta de forma progresiva hasta el penúltimo paso, momento donde habitualmente se produce una ligera pérdida de velocidad como consecuencia de la preparación de la batida.

En la muestra masculina analizada la velocidad media cumple lo previsto aunque con una pérdida bastante elevada de la velocidad en el último paso (0.37 m.s<sup>-1</sup> vs. 5.16%). Se incrementa progresiva e intensamente (p<0.000) la velocidad entre el 6° y el 2° paso anterior a la batida (0.91 m.s<sup>-1</sup> vs. 10.66%) y se disminuye de forma estadísticamente significativa (p<0.04) en los dos últimos pasos.

Evolución de la velocidad en los seis últimos pasos de carrera (m.s <sup>-1</sup> )								
Atleta/Paso	6°	5°	4°	3°	2°	Último		
AO	7.78	8.02	8.02	7.84	7.90	7.20		
GB	6.79	7.14	7.38	7.53	8.60	7.60		
<b>IP</b>	6.50	7.27	7.29	7.02	8.00	7.10		
AB	6.50	6.64	6.88	7.03	6.80	6.80		
СР	6.27	6.35	6.44	6.52	6.90	6.80		
MP	6.43	6.60	6.73	6.72	6.90	6.40		
RL	6.76	7.18	7.47	7.55	7.20	7.20		
JA	5.49	5.98	6.34	6.72	7.10	6.20		
JR	5.41	5.83	6.19	6.33	6.60	6.68		
OG	5.04	5.46	5.98	6.39	6.10	6.40		
Media	6.30	6.65	6.87	6.97	7.21	6.84		
SD	0.80	0.78	0.65	0.53	0.75	0.44		

Tabla – 24. Evolución de la velocidad de carrera en la categoría masculina

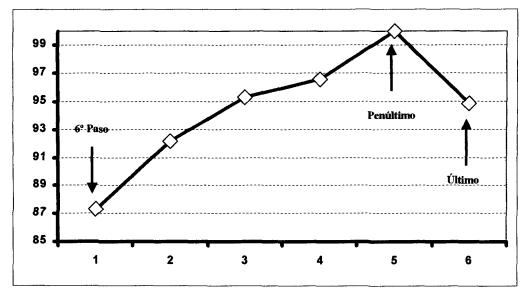


Fig. 32. Evolución de la velocidad respecto a su máxima (%) en el grupo masculino.

En la muestra femenina no encontramos un comportamiento similar. La velocidad promedio del grupo se incrementa a lo largo de los seis últimos pasos de la carrera. Se observan ganancias significativas (p<0.006) equivalentes a 0.82 m.s<sup>-1</sup> (12.71%) entre el 6° y el último paso, aunque la mayor ganancia de velocidad se da entre el penúltimo y el último paso (↑ 0.36 m.s<sup>-1</sup>; 5.59%; ns). Tal situación se manifiesta en cinco de las saltadoras nacionales estudiadas.

Esto debe ser interpretado como un error técnico atribuible, en esta competición, al promedio de los valores obtenidos entre las saltadoras de nuestra muestra. Debemos de tener en cuenta que, además de la baja velocidad final, las deportistas entran con escasa velocidad a la parte curva de la carrera, lo que se manifiesta de forma muy evidente en las saltadoras CT (4.85 m.s<sup>-1</sup>) y AM (4.79 m.s<sup>-1</sup>).

Evolu	Evolución de la velocidad en los seis últimos pasos de carrera (m.s <sup>-1</sup> )								
Atleta/Paso	6°	5°	4°	3°	2°	Último			
MM	6.38	6.31	6.55	6.31	6.88	6.30			
cc	6.59	6.45	6.97	6.48	6.92	7.30			
MM	5.20	5.27	5.69	5.69	5.10	6.60			
AM	5.50	5.56	5.39	5.59	5.84	6.00			
CT	4.85	4.93	5.16	5.49	5.20	6.20			
VF	5.71	6.06	6.47	6.36	6.22	6.40			
AM	4.79	5.09	5.24	6.08	6.04	5.90			
Media	5.57	5.67	5.92	6.00	6.03	6.39			
SD	0.71	0.61	0.73	0.41	0.72	0.47			

Tabla - 25. Evolución de la velocidad de carrera en la categoría femenina.

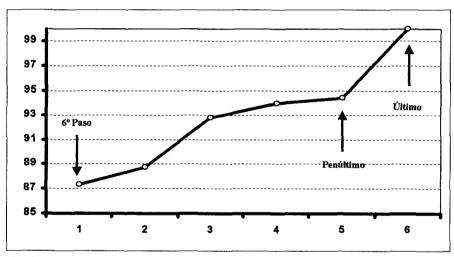


Fig. 33. Evolución de la velocidad respecto a la máxima (%) en el grupo femenino.

Aunque un saltador/a llegara al sexto apoyo con una baja velocidad podría aumentar la misma y no por ello alcanzar al final de la carrera la velocidad más adecuada para sus características técnicas, físicas y/o constitucionales. Esto quiere decir, que se puede alterar la velocidad de la carrera sin que esto producto un efecto positivo.

Por lo tanto, para asegurar una adecuada interpretación del el ritmo de carrera, la organización de la batida, o la reactividad de los apoyos se hace necesario analizar los aspectos básicos que determinan su magnitud: la amplitud de zancada y la frecuencia de paso, y no sólo la variable velocidad.

## La amplitud de las zancadas

Después de alcanzar la máxima longitud de zancada al final de la parte recta de la carrera de impulso, los atletas tienden a ir disminuyendo su magnitud, salvo ocasionalmente en la penúltima zancada, para ir preparando la batida. Entre nuestros saltadores, se confirma este comportamiento pese a que el promedio es seguir disminuyendo la misma de forma uniforme; además, comprobamos, como inicialmente, coincidiendo con la parte curva de la carrera de impulso, la disminución de la zancada es pequeña, pero al final esta disminución se intensifica hasta llegar a un valor de 26.41% menor con respecto a la zancada 6º anterior a la batida.

Evolución de la amplitud de la zancada en los seis últimos pasos de carrera (m)								
Atleta / Paso	6°	5°	4°	3°	2°	Último		
AO	2.86	2.93	2.78	2.71	2.13	1.95		
GB	2,73	2.82	2.38	2.14	2.38	2.08		
IP	2.61	2.59	2.24	1.91	2.1	1.92		
AB	2.58	2.84	2.62	3.09	2.41	1.97		
СР	2.94	2.47	2.27	2.04	2.04	1.93		
MP	2.90	2.98	2.74	2.24	2.21	1.95		
RL	2.32	2.18	2.16	2.15	2.22	2.02		
JA	2.4	2.16	2.25	2.16	2.23	2.15		
JR	2.74	2.58	2.47	2.19	1.96	1.83		
OG	2.73	2.74	2.78	2.66	2.10	1.93		
Media	2.68	2.63	2.47	2.33	2.18	1.97		
SD	0.21	0.29	0.24	0.37	0.14	0.09		

Tabla - 26. Evolución de la amplitud de la zancada de carrera en la categoría masculina

Asimismo, la tendencia de la muestra femenina a disminuir la amplitud de la zancada conforme la saltadora se acerca al punto de batida se repite. Sin embargo, en esta ocasión se detecta un cambio muy brusco en la longitud del paso entre el 4º y el 3º paso anterior a la batida. Esta operación rompe la suave progresión que debe caracterizar este procedimiento técnico, convirtiéndose en un proceder no deseable porque va a repercutir negativamente sobre las acciones técnicas del saltador de cara a optimizar la acción de impulso durante el último apoyo.

Evolución de la amplitud de la zancada en los seis últimos pasos de carrera (m)								
Atleta / Paso	6°	5°	4º	3º	2°	Último		
MM	2.90	2.43	2.38	1.84	2.12	1.70		
CC	2.64	2.38	2.42	1.93	1.90	1.76		
MM	2.30	2.46	2.46	2.10	1.75	1.56		
AM	2.50	2.57	2.65	2.18	1.81	1.87		
CT	2.61	2.51	2.42	1.6	1.88	1.82		
VF	2.04	2.04	1.98	1.91	1.85	1.77		
AM	2.06	1.82	1.73	1.68	1.87	1.78		
Media	2.44	2.32	2.29	1.89	1.88	1.75		
SD	0.32	0.28	0.32	0.21	0.12	0.10		

Tabla – 27. Evolución de la amplitud de la zancada de carrera en la categoría femenina

En la siguiente gráfica podemos ver la tendencia que presenta este parámetro en las dos muestras estudiadas (masculina, en color morado y femenina, en color lila). Se expresa en porcentaje de paso respecto al 6º anterior a la batida. Véase las importantes diferencias que existen entre las variaciones de zancada que presentan de ambos grupos.

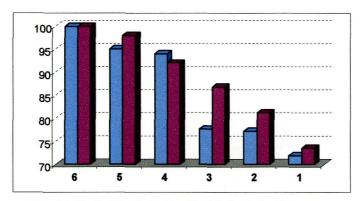


Fig. 34. Evolución de la amplitud de los seis últimos pasos en la muestra masculina y femenina.

Mientras los hombres muestran una disminución gradual y progresiva aunque de similar magnitud, entre el 6° y último paso de la carrera, las mujeres lo hacen de manera más brusca. Esto indica que ellas presentan, en esta competición, una mayor deficiencia técnica que los varones a la hora de ejecutar la carrera de impulso a la batida.

#### La frecuencia de paso

Según Strizhak<sup>3</sup>, la frecuencia de paso aumenta de manera progresiva en los últimos pasos de la carrera de impulso, llegando a valores de 4.8-5.0 pasos / segundo en el caso de los hombres y algo más altos (5.0-5.5 pasos/segundo) en el caso de las mujeres. En nuestra muestra, pese al incremento significativo (p<0.000) observado en los últimos pasos, los valores máximos son ligeramente inferiores a los de referencia mencionados, especialmente en el caso de las mujeres, donde la máxima frecuencia se alcanza en el último paso, con un valor de  $4.60 \pm 0.52$  pasos/segundo.

Evolución de frecuencia de la zancada en los seis últimos pasos de carrera (p/s)								
Atleta / Paso	6°	5°	4°	3°	2°	Último		
AO	2.78	2.78	2.94	3.33	3.85	5.00		
GB	2.50	2.63	3.12	3.85	3.57	4.55		
IP	2.50	2.94	3.33	3.85	4.17	5.00		
AB	2.50	2.27	2.63	2.38	3.57	4.17		
СР	2.00	2.78	2.78	3.33	3.57	5.56		
MP	2.17	2.27	2.50	3.33	3.33	4.55		
RL	3.13	3.33	3.57	3.85	3.57	4.17		
JA	2.38	2.78	2.94	3.57	3.33	4.17		
JR	1.92	2.50	2.50	3.12	4.17	4.55		
OG	1.85	2.08	2.27	2.38	3.57	4.17		
Media	2,37	2.64	2.86	3.30	3.67	4.59		
SD	0.40	0.37	0.40	0.55	0.30	0.47		

Tabla – 28. Evolución de la frecuencia de zancada de carrera en la categoría masculina

No obstante, el incremento de la frecuencia de paso en los dos últimos pasos de la carrera se hace de manera muy brusca en ambos géneros. En el caso de los varones, la diferencia entre el 4° y el último paso anterior a la batida, la diferencia de la frecuencia de paso es de 1.73 pasos / segundo, lo que resulta un valor muy superior a lo que se espera entre saltadores de un buen nivel técnico (1.0 a 1.2 pasos / segundo). En la siguiente tabla se ilustran estos valores:

Evolución de	Evolución de la frecuencia de zancada en los seis últimos pasos de carrera (p/s)								
Atleta / Paso	6°	5°	4º	3°	2°	Último			
MM	2.17	2.78	2.63	3.57	3.57	5.00			
CC	2.50	2.94	2.94	3.57	3.85	4.17			
MM	2.17	2.17	2.38	2.78	3.13	5.56			
AM	2.15	2.17	2.08	2.63	3.13	4.55			
CT	2.00	1.92	2.17	3.33	3.33	4.17			
VF	2.94	3.13	3.33	3.57	3.33	4.55			
AM	2.38	3.13	2.94	3.33	3.85	4.17			
Media	2.33	2.61	2.64	3.25	3.46	4.60			
SD	0.32	0.51	0.46	0.39	0.31	0.52			

Tabla - 29. Evolución de la frecuencia de zancada de carrera en la categoría femenina

En el caso de las mujeres las diferencias fueron aún mayores (1.96 pasos / segundo). Por lo tanto, significativamente mayores que lo que se pudieran desear para una adecuada velocidad de carrera.

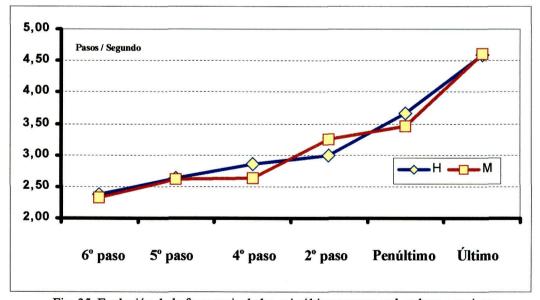


Fig. 35. Evolución de la frecuencia de los seis últimos pasos en hombres y mujeres.

Sin embargo, la dinámica de esta variable no es exactamente igual en ambos grupos de la muestra. Mientras se constata en los varones un incremento progresivo y relativamente estable de la frecuencia, en las mujeres, por el contrario, revelan un

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Strizjak, A.P., Alexandrov, O. I., Sidorenko, C.P., Petrov, B. A., Saltos atléticos, art. cit., p. 5.

incremento irregular de la misma. Podemos plantear esta cuestión como una diferencia en los niveles técnicos de ambos grupos. Recordemos que para muchos entrenadores la frecuencia de los pasos se considera como el índice integral de la técnica de carrera. Sería recomendable que, con la finalidad de optimizar el ritmo de aproximación a la batida, los deportistas aumentaran de forma suave, progresiva y estable la velocidad de carrera, tratando de evitar modificaciones bruscas en ella.

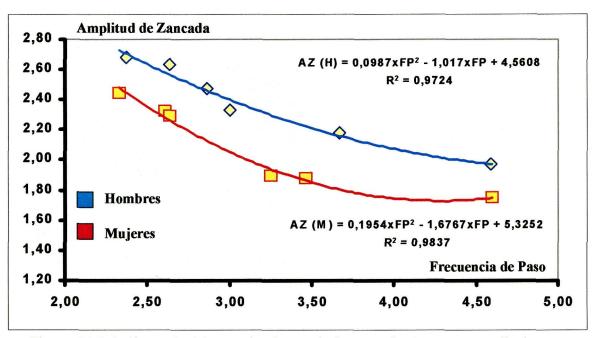


Figura - 36. Relación amplitud de zancada y frecuencia de paso en las dos muestras analizadas.

En cualquier caso, para el estudio de la carrera de impulso, la variable frecuencia de paso debe ser estudiada paralelamente a la amplitud de zancada, ya que ambas tienen un comportamiento inverso conforme el saltador se acerca al listón. Mientras la frecuencia de paso aumenta, la amplitud de zancada disminuye, aunque no manteniendo la misma relación en cada uno de los pasos de aproximación a la batida. Tanto en hombres como en mujeres, al final de la carrera, la frecuencia de paso aumenta en mayor proporción a la que disminuye la amplitud de la zancada.

# Relación entre el tiempo de contacto y la frecuencia de paso

Durante la carrera de impulso, el atleta trata de alcanzar la velocidad que es óptima para su capacidad física. Con esta intención, un atleta debe mantenerse relajado durante la parte final de esta carrera, aumentar la frecuencia de zancada y mantener una elevada

elevación de rodillas (Locatelli, E.)<sup>4</sup>. Cuando un corredor –o en este caso un saltadorquiere aumentar la frecuencia de sus apoyos debe conseguir dos objetivos: disminuir la fase de vuelo (por lo tanto la longitud del paso) existente entre dos apoyos y, paralelamente, disminuir el tiempo de duración de los mismos. Cuanto más larga es la duración de un apoyo más blando resulta el contacto con el suelo y, como es lógico, menos reactivo es el impulso que se logra en cada uno de ellos. No debemos olvidar que la reactividad es una de las manifestaciones más importante de la fuerza en las modalidades de salto en atletismo.

Evolución	Evolución de los tiempos de contacto en los seis últimos pasos de carrera (segundos)								
Atleta / Paso	6°	5°	4º	3°	2°	Último			
AO	0.36	0.36	0.34	0.30	0.26	0.20			
GB	0.40	0.38	0.32	0.26	0.28	0.22			
IP	0.40	0.34	0.30	0.26	0.24	0.20			
AB	0.40	0.44	0.38	0.42	0.28	0.24			
СР	0.40	0.36	0.36	0.30	0.28	0.18			
MP	0.46	0.44	0.40	0.30	0.30	0.22			
RL	0.32	0.30	0.28	0.26	0.28	0.24			
JA	0.42	0.36	0.34	0.28	0.30	0.24			
JR	0.52	0.40	0.40	0.32	0.24	0.22			
OG	0.54	0.48	0.44	0.42	0.28	0.24			
Media	0.42	0.39	0.36	0.31	0.27	0.22			
SD	0.07	0.05	0.05	0.06	0.02	0.02			

Tabla – 30. Evolución del tiempo de contacto en los seis últimos pasos de carrera en la categoría masculina.

Entre los varones y mujeres de nuestra muestra se aprecia una disminución progresiva en la duración de los apoyos que correlaciona inversamente con la frecuencia de paso. Destaca el hecho de que la relación (ratio) entre ambas variables, frecuencia de paso vs. tiempo de contacto, es prácticamente la misma en los dos grupos de nuestra muestra (r = 0.99) a lo largo de la carrera de impulso.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Locatelli, E., "Consideraciones técnicas y metodológicas en los saltos horizontales", en *Entrenamientos de alto nivel: saltos*, Cuadernos de Atletismo, ENE, Madrid, 1988, p.79.

Evolución	Evolución de los tiempos de contacto en los seis últimos pasos de carrera (segundos)									
Atleta / Paso	6°	5°	4°	3°	2°	Último				
MM	0.46	0.36	0.38	0.28	0.28	0.20				
CC	0.40	0.34	0.34	0.28	0.26	0.24				
MM	0.46	0.46	0.42	0.36	0.32	0.18				
AM	0.46	0.46	0.48	0.38	0.32	0.22				
CT	0.50	0.52	0.46	0.30	0.30	0.24				
VF	0.34	0.32	0.30	0.28	0.30	0.22				
AMa	0.42	0.32	0.34	0.30	0.26	0.24				
Media	0.43	0.40	0.39	0.31	0.29	0.22				
SD	0.05	0.08	0.07	0.04	0.03	0.02				

Tabla -31. Evolución del tiempo de contacto en los seis últimos pasos de carrera en la categoría femenina

A nuestro entender, los tiempos de contacto de los dos grupos son excesivamente grandes si los comparamos con los valores que podemos encontrar en la bibliografía especializada respecto a saltadores con mejores resultados. Esto se corresponde con su menor nivel de rendimiento y, en consecuencia, sus inferiores valores de fuerza y condición técnica. Ello nos hace pensar en la necesidad de aumentar el trabajo condicional de fuerza especial de carácter reactivo que deberían efectuar los saltadores/as nacionales en sus programas de entrenamiento. Es evidente que de seguir estas sugerencias, sin duda, redundará en la calidad de los apoyos que realizan durante la carrera de impulso (mayor velocidad y solidez en los apoyos) y en la eficiencia de la batida (mayor potencia en el impulso).

# Trayectoria de los últimos apoyos de la carrera

Una vez que el saltador/a entra en la fase curva de la carrera, el ángulo que forma su trayectoria con la prolongación del listón (t) debe disminuir de forma progresiva hasta llegar al punto de batida. La mayor parte de los saltadores/as que emplean la técnica fosbury-flop inician, de manera evidente su orientación hacia el listón en la transición del quinto al cuarto paso anterior a la batida. Es en este momento cuando el deportista

modifica el ángulo de la trayectoria en aproximadamente 10°-15°, tal y como se observa en la tabla siguiente:

Evolución de	Evolución del ángulo de aproximación en los seis últimos pasos de carrera (°)									
Atleta / Paso	Último	2°	3°	4°	5°	6°				
AO	21°	53°	64°	77°	87°	85°				
GB	28°	54°	65°	78°	89°	84°				
<b>IP</b>	27°	60°	64°	76°	84°	85°				
AB	31°	55°	78°	79°	85°	88°				
СР	18°	57°	69°	77°	84°	83°				
MP	22°	49°	59°	69°	84°	84°				
RL	30°	48°	61°	75°	82°	88°				
JA	20°	58°	71°	73°	82°	87°				
JR	17°	43°	57°	70°	85°	86°				
OG	25°	57°	71°	77°	87°	89°				
Media	23.90°	53.40°	65.90°	75.10°	84.90°	85.90°				
SD	5.00°	5.27°	6.38°	3.38°	2.52°	2.02				

Tabla - 32. Trayectoria de la carrera de impulso (hombres).

Entre los saltadores masculinos se puede comprobar esta conducta en la dirección de los tres últimos pasos. Los valores medios se sitúan entre los valores de referencia propuestos por Dapena<sup>5</sup> para los tres últimos pasos de la carrera: 46°-73, 46°-61° y 27°-38° respectivamente. En cuanto al último paso podemos encontrar un elevado número de saltadores (seis) que realizan una trayectoria demasiado paralela al listón, lo que puede suponer un riesgo para la articulación del tobillo en el momento de efectuar la fase de amortiguación de la batida. Recordemos que en este punto, incluso en condiciones normales, el pie sufre importantes deformaciones que afectan a la articulación tibio-tarsiana que frecuentemente se traducen en lesiones habituales de los saltadores de altura que emplean la técnica fosbury-flop. Observemos que la orientación de la trayectoria de todos los sujetos es muy estable al inicio de la fase curva de la carrera, aunque aumenta la variabilidad en la orientación de los apoyos conforme el

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Citado en Challis, S. y F. Yeadon, *art. cit.*, p. 20. Véase asimismo en Tancic, D., Biomecánica de la técnica moderna de salto de altura", en, *Entrenamientos de alto nivel: saltos*, Cuadernos de Atletismo, ENE, Madrid, 1988, p. 30.

saltador se acerca al punto de batida. Estas diferencias son especialmente notables en el tercer paso anterior a la batida. La tabla siguiente proporciona los valores de estos ángulos de la carrera de impulso.

Evolución de	Evolución del ángulo de aproximación en los seis últimos pasos de carrera (°)									
Atleta / Paso	Último	2°	3°	4º	5°	6°				
MM	27°	63°	65°	78°	88°	89°				
CC	21°	49°	57°	79°	90°	84°				
MM	32°	61°	80°	87°	88°	89°				
AM	18°	51°	64°	72°	83°	89°				
CT	19°	45°	64°	73°	86°	89°				
VF	28°	52°	55°	69°	82°	89°				
Ama	28°	55°	56°	69°	81°	89°				
Media	24.71°	53.71°	63.00°	75.29°	85.43°	88.17°				
D.T.	5.35°	6.45°	8.60°	6.50°	3.46°	2.04°				

Tabla - 33. Trayectoria de la carrera de impulso (mujeres)

En la muestra femenina se observa un comportamiento idéntico al descrito para el grupo de saltadores masculinos. Una vez más debemos destacar la orientación del último paso que se realiza excesivamente paralela al listón en tres de las saltadoras. Debido al nivel de las saltadoras estudiadas, es lógico pensar que muchas de estas deportistas hacen esta acción, de manera inconsciente, con el fin de facilitar la colocación del cuerpo de espaldas al listón al final de la batida. Sin embargo, como estudiaremos en el apartado dedicado a la batida, la acción de colocarse de espaldas al listón, durante la fase de vuelo, debe ser fruto de los momentos angulares que se generan, respecto al eje longitudinal, durante el impulso final hacia el listón. Para ello, entre otros muchos factores, la acción y orientación del movimiento que realizan los segmentos libres cumple una función principal y determinante durante la fase de empuje sobre el suelo.

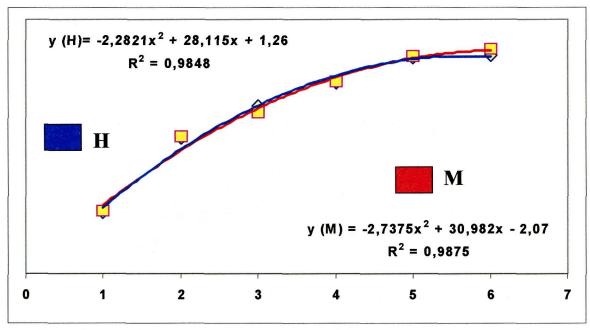


Fig. 37. Trayectorias de los seis últimos pasos de la carrera: Hombres (azul) y Mujeres (rojo).

Dejando a un lado la longitud de las carreras y/o la distancia entre los apoyos, al comparar las trayectorias (orientación de los pasos) de ambos grupos de la muestra, vemos la gran semejanza existente entre ambas. Casi podríamos decir que son idénticas, salvo por pequeños detalles que no son especialmente relevantes.

En ambas carreras se ve con claridad el desplazamiento lateral que la mayor parte de los sujetos analizados efectúan en el penúltimo paso. Dicha acción desplaza la dirección de la trayectoria hacia el exterior de la curva teórica que realiza el saltador si consideramos el resto de los apoyos. Ya se expuso como el radio de la curva es uno de los aspectos más controvertidos que se observan durante la fase de preparación de la batida. Aunque algunos entrenadores insisten en la necesidad de ejecutar todos los apoyos en la dirección natural de la trayectoria curva seleccionada, la realidad nos demuestra que muchos saltadores, incluso del máximo nivel, realizan esta pequeña modificación en el penúltimo paso de la carrera. En nuestro estudio se comprueba que esa acción conlleva un ligero cambio, con similar magnitud, de la trayectoria de la carrera hacia el exterior de la misma, que presuponemos como uno de los principales factores que provocan un último apoyo demasiado paralelo al listón en el momento de la batida.

Trayectoria de los apoyos y trayectoria del C. M.

El C.M. viaja, durante parte recta de la carrera, directamente sobre las huellas que marcan los apoyos. En la parte curva donde el atleta necesita inclinarse, el CM se traslada alejándose de los apoyos o lo que es lo mismo viaja más cerca del centro de la curva que las propias pisadas. Al final de la carrera, ambos trazados tienden a converger nuevamente, de tal forma que el C.M. se sitúa casi encima del pie de batida al final del despegue aunque su trayectoria es tangencial al plano del listón. Una consecuencia de este comportamiento es que el ángulo final de la trayectoria del C.M. (P<sub>1</sub>) es siempre mayor que el ángulo correspondiente de la unión de la trayectoria de las dos últimas pisadas (t<sub>1</sub>), en una valor de 10°-15° (Dapena *et alii*°).

Atleta	P <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
AO	43°	21°	45°	53°	56°	64°
GB	31°	28°	34°	54°	42°	65°
IP	45°	27°	39°	60°	51°	64°
AB	41°	31°	41°	55°	53°	78°
СР	33°	18°	39°	57°	49°	69°
MP	43°	22°	40°	49°	56°	59°
RL	47°	30°	49°	48°	61°	61°
JA	43°	20°	43°	58°	54°	71°
JR	36°	17°	41°	43°	53°	57°
OG	33°	25°	40°	57°	53°	71°
Media	39.5°	23.9°	41.1°	53.4°	52.8°	65.9°
SD	5.7°	5.0°	4.0°	5.3°	5.0°	6.4°

Tabla - 34. Relación entre la trayectoria del C.M. y la trayectoria de los apoyos (hombres)

Los valores de la trayectoria del C.M. de la muestra masculina exhiben datos similares ( $P_0$ : 39.5° ±5.7°;  $P_1$ : 41.1° ±4.0°;  $P_2$ : 52.8° ±5°) a los de referencia propuestos por Vélez<sup>7</sup> ( $P_0$ : 29° ±5°;  $P_1$ : 40° ±5°;  $P_2$ : 51° ±5°), salvo en lo que hace referencia a la trayectoria del C.M. en el momento de la batida en el que el valor aumenta de forma

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Cfr. J. Dapena, M. Ae y A. Iiboshi, art. cit., p. 4409.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Vélez, M., documentos citados.

significativa. Algo similar ocurre con el comportamiento observado en la muestra femenina.

Como podemos ver en la tabla anterior, la diferencia entre t<sub>1</sub> y P<sub>1</sub> es de 17.2°, lo que demuestra una elevada inclinación del tronco hacia el interior de la curva pese a relativamente baja velocidad con la que se mueven los sujetos de nuestra muestra. En el caso de la muestra femenina (tabla siguiente) los valores obtenidos entre ambos parámetros son claramente inferiores a la de los hombres (11.3°), indicando una menor inclinación del tronco durante su desplazamiento. Esto es normal por la diferencia de velocidad existente entre ambos grupos (6°).

Atleta	P <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
MM	40°	27°	35°	63°	45°	65°
CC	35°	21°	48°	49°	55°	57°
MMM	40°	32°	49°	61°	50°	80°
AMo	31°	18°	22°	51°	45°	64°
CT	36°	19°	34°	45°	42°	64°
VF	42°	28°	38°	52°	51°	55°
AMa	35°	28°	26°	55°	36°	56
Media	37.0°	24.7°	36.0°	53.7°	46.3°	63.0°
D.T.	3.8°	5.4°	10.2°	6.5°	6.3°	8.6°

Tabla - 35. Relación entre la trayectoria del C.M. y la trayectoria de los apoyos (mujeres).

LAS INCLINACIONES DURANTE LA CARRERA DE IMPULSO

En nuestro estudio, la inclinación lateral la determinamos a partir del ángulo que formaban las líneas que unían el C. M. con la punta del pie y la proyección vertical al suelo desde el mismo punto (C.M.). La medición de los ángulos se obtenían atendiendo a dos momentos: cuando el pie tomaba contacto con el suelo (TD) y cuando el pie lo abandonaba al final de cada apoyo (TO).

No obstante, en la figura siguiente, el valor de la inclinación queda representado por magnitudes resultantes de restar a 90° el valor obtenido. De esta forma, cuanto más

bajo sea el valor, nos estará indicando una mayor inclinación del tronco hacia el interior de la curva.

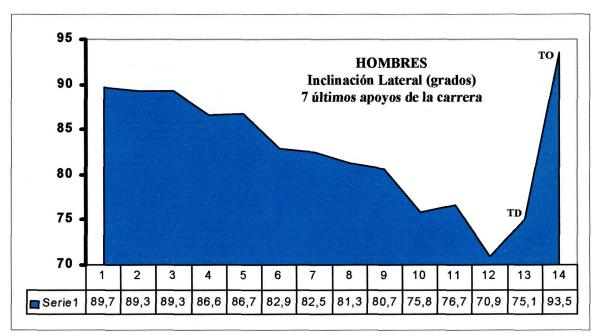


Fig. 38. Inclinación lateral en la carrera curva (hombres).

En los varones de nuestra muestra se observa una inclinación cada vez más acentuada hacia el interior de la trayectoria curva que ejecuta el saltador en su aproximación al listón. Cuanto mayor sea el nivel del saltador, esta inclinación se producirá de una manera suave, progresiva y en una magnitud proporcional a la velocidad con la que se desplace el saltador. En nuestro caso, podemos afirmar que la mayor inclinación se reserva para el penúltimo paso (3° y 2° apoyo anterior a la batida), con especial relevancia a la salida del penúltimo apoyo (TO: 70.9°).

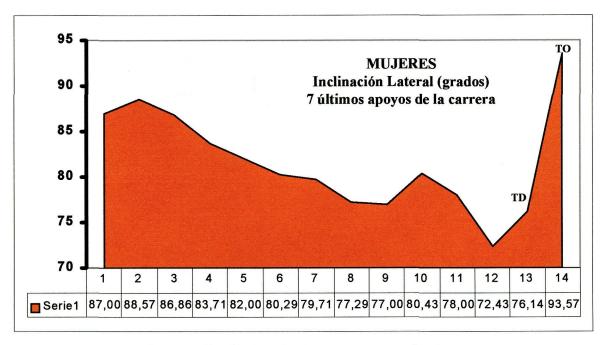


Fig. 39. Inclinación lateral en la carrera curva (mujeres)

En el grupo femenino, las inclinaciones laterales alcanzan valores similares a los registrados en los varones cuando éstos realizan la trayectoria curva de la carrera de impulso a la batida. Sin embargo, la dinámica observada no define un estilo que pudiéramos considerar adecuado para lograr la mayor optimización de la batida final.

Frente al logro suave, progresivo y mantenido de la inclinación lateral deseada del cuerpo hacia el interior de la curva, nuestras saltadoras presentan un comportamiento brusco y no mantenido que denota deficiencias técnicas en esta fase del salto. Opinamos que estas acciones preparatorias de la batida, que son justificadas por algunos entrenadores, pueden afectar negativamente a los momentos angulares que debe generar el atleta durante la batida para favorecer el paso del listón.

La salida (TO) del antepenúltimo apoyo o inicio del penúltimo paso, la tendencia encontrada muestra una menor inclinación respecto a fases anteriores para posteriormente volver a una inclinación elevada (72.4°) y, muy posiblemente, forzada de manera antinatural.

Con respecto a la inclinación sagital, la gráfica en forma de sierra dentada nos muestra las oscilaciones de los valores de inclinación atrás (TD) o delante (TO) de la parte inferior del cuerpo. El valor representa el ángulo que, respecto al suelo, forma la línea que une la punta del pie con el C. de M. del deportista. Como es lógico, al

iniciarse el contacto del pie con el suelo (TD) el valor es menor que cuando el pie abandona el mismo al final de cada apoyo (TO).

Las líneas de puntos que unen las crestas o las depresiones de la sierra muestran las tendencias de las inclinaciones que, en el plano sagital, realiza la parte inferior del cuerpo del deportista. Esto implica que cuanto menor sea su valor en TD, menos alejado se encuentra el apoyo de la proyección vertical del C.M., mientras que cuanto mayor sea éste valor, más alejado estará. Esta misma interpretación es la que tenemos que hacer con el valor que se detecte en TO.

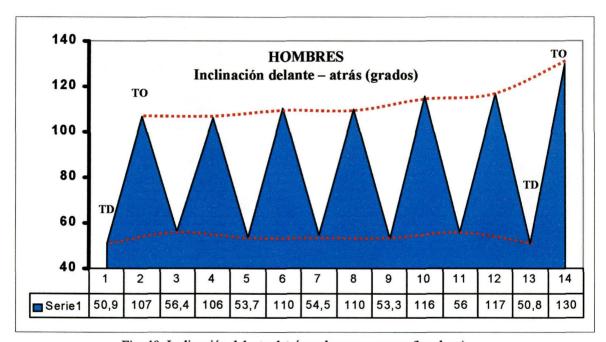


Fig. 40. Inclinación delante-detrás en la carrera curva (hombres)

En el grupo masculino, la mayor inclinación del cuerpo atrás se contempla en el inicio del contacto del 4º y 5º apoyo anterior a la batida, disminuyendo ligeramente al inicio de la fase final de empuje hacia el listón. Así mismo, la mayor verticalidad del tronco se observa en la fase de despegue (TO) de los apoyos más alejados a la batida, aumentando de forma suave y progresiva hasta ejecutar la misma.

En las mujeres se detecta un perfil ligeramente diferente, que debe ser entendido y analizado de forma conjunta a las inclinaciones laterales que hacen estas saltadoras en la fase curva de la carrera de impulso. Es necesario señalar que la inclinación atrás al inicio de la batida es muy elevada si tenemos en cuenta la escasa velocidad con la que entran a esta importante fase del salto.

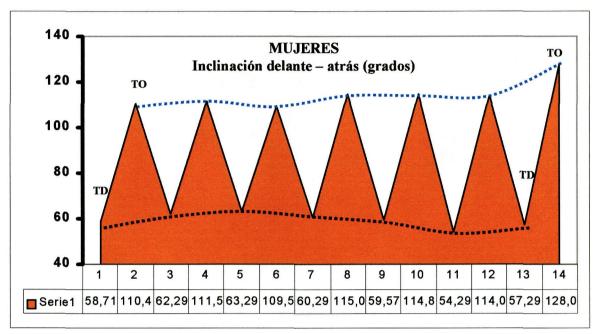


Fig. 41. Inclinación delante-detrás en la carrera curva (mujeres)

Debemos recordar que las inclinaciones ideales en saltadores/as que entran a baja velocidad, tal y como ocurre en el caso de las especialistas que conforman nuestra muestra, deben ser menores que entre saltadores/as de mayor nivel. Sirva de ejemplo, magnitudes cercanas a los 50°, no siendo deseable que el deportista tome inclinaciones superiores que necesariamente requerirían elevadas velocidades de entrada y grandes cantidades de fuerza para poder efectuar con eficacia las acciones propias de la fase de batida.

## LA PREPARACIÓN DE LA BATIDA

En los tres últimos apoyos (dos últimos pasos de carrera) el atleta, sin disminuir significativamente la velocidad de carrera, deberá llevar a cabo una serie de acciones que se caracterizan, principalmente, por un aumento de la frecuencia de zancada, una adecuada amplitud de paso y una colocación coherente de los apoyos respecto al listón.

De estos tres aspectos, la amplitud y la orientación de los dos últimos pasos son los que reflejan una mayor variabilidad intra y entre sujetos.

# La longitud de las últimas zancadas

Una vez que el saltador inicia la curva de la carrera, se inicia una disminución progresiva de la longitud del paso conforme el deportista se acerca al punto de batida. Sólo en los dos últimos pasos se puede dar una conducta diferente en función de las características técnicas del saltador.

La actitud que integra la organización de los tres últimos apoyos (dos últimas zancadas), en relación con el ritmo y longitud de las mismas, es motivo de una de las más interesantes controversias que se originan al describir la técnica más adecuada para ejecutar correctamente la carrera de impulso del salto de altura estilo *fosbury-flop* 

Dapena apuntó que el alargamiento de la penúltima zancada no siempre debe manifestarse en todos los saltadores. Tellez<sup>8</sup> señala que la penúltima zancada debe ser la más larga que la última para favorecer el descenso del C.M. durante la misma y, posteriormente, acortar la última zancada con el objeto de conseguir la elevación del C.M. que tiene lugar cuando se va a colocar el pie en la batida por delante de lo que sería la proyección del C.M. sobre el suelo. Estas acciones permiten, al menos desde el punto de vista teórico, el alcance de una mayor velocidad vertical mientras se intenta, durante la batida, conservar una elevada velocidad horizontal.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Tellez K., "Elements of the high jump", *Track Technique*, Mountain-View, California, núm. 125, 1993, pp. 3987-3990.

	Longitud de los últimos seis pasos de la carrera de impulso (metros)										
Atleta	AO	GB	IP	AB	MC	СР	JR	RL	OG	IA	Media (SD)
6°	2.86	2.73	2.61	2.58	2.90	2.94	2.74	2.32	2.73	2.40	2.68 (±0.2)
5°	2,93	2,82	2,59	2,84	2,98	2.47	2.58	2.18	2.74	2.16	2.63 (±0.3)
4°	2.78	2.38	2.24	2.62	2.74	2.27	2.47	2.16	2.78	2.25	2.47 (±0.2)
3°	2.71	2.14	1.91	3.09	2.24	2.04	2.19	2.15	2.66	2.16	2.33 (±0.4)
2°	2.13	2.38	2.10	2.41	2.21	2.04	1.96	2.22	2.10	2.23	2.18 (±0.1)
1°	1.95	2.08	1.92	1.97	1.95	1.93	1.83	2.02	1.93	2.15	1.97 (±0.1)

Tabla - 36. Longitud de los seis últimos pasos de la carrera (hombres)

En la muestra masculina predomina una longitud del penúltimo paso mayor (9.41%) que la del último paso, pero no con respecto a la longitud del antepenúltimo. El promedio nos proporciona que la longitud del penúltimo paso es un 6.48% más corto que el anterior; sin embargo, cuatro de estos saltadores muestran un alargamiento evidente de este paso.

Estos valores se equiparan hallando el porcentaje de la estatura del saltador. Los datos aportados mostraron valores de 103.09% ( $\pm$  5.64%). Estos son relativamente más pequeños de lo que se pudiera esperar si tenemos en cuenta los valores de referencia. Los datos extraídos de una amplia bibliografía se aproximan al 100% de la estatura del atleta, aunque con ligeras variaciones en función del sexo. Oscilan para los varones entre el 108-112% o algo más frente a los 103-105% de las mujeres. El grupo femenino presenta un valor medio de  $99.12\% \pm 6.44\%$ , aunque este valor es engañoso sino tenemos en cuenta que las atletas MMM (1.56 metros vs. 87.16 %) y CC (1.76 metros vs. 93.62 %) eligen un último paso excesivamente corto para su estatura.

	Longitud de los últimos seis pasos de la carrera de impulso (metros)									
Atleta	MM	CC	MMM	AM	СТ	VF	AMa	Media (SD)		
6°	2.90	2.64	2.3	2.57	2.61	2.04	2.06	2.41 (±0.3)		
5°	2.43	2.38	2.46	2.57	2.51	2.04	1.82	2.41 (±0.3)		
4°	2.38	2.42	2.46	2.65	2.45	1.98	1.73	2.30 (±0.3)		
3°	1.84	1.93	2.10	2.18	1.60	1.91	1.68	1.90 (±0.2)		
2°	2.12	1.90	1.75	1.81	1.88	1.85	1.87	1.85 (±0.1)		
1°	1.70	1.76	1.56	1.87	1.82	1.77	1.78	1.76 (±0.1)		

Tabla - 37. Longitud de los seis últimos pasos de la carrera (mujeres)

En la tabla anterior podemos comprobar como, el valor medio, de las zancadas de nuestras saltadoras también denotan una tendencia a disminuir la longitud del paso conforme se aproximan al punto de batida. Sólo dos de las atletas alargan el penúltimo paso respecto al anterior. Seis de ellas presentan un último paso más corto que el penúltimo, por lo que en un solo caso se observa una atleta que alargue el apoyo previo a la batida.

## La orientación del pie en la batida

Cuando analizamos la orientación de los últimos pasos de la carrera, contemplamos que había un elevado número de saltadores/as que armaban la aproximación a la batida efectuando una trayectoria excesivamente paralela al listón, lo que posiblemente condicionaría la orientación del pie a la hora de realizar la batida reduciendo su eficacia y aumentando el riesgo de dañar la articulación del tobillo.

Esto nos obliga a comprobar si, en estas condiciones, el pie realmente se orienta en una dirección que pueda comprometer su integridad a la hora de empujar, de forma intensa y explosiva, durante la batida. Después de colocar el pie en el suelo, el saltador empuja a éste en dos direcciones: verticalmente hacia abajo y horizontalmente. El empuje horizontal normalmente se desvía ligeramente hacia el foso de caída, alejándose la dirección de su vector de fuerza del eje longitudinal del pie y de la dirección final de

la carrera de impulso (Dapena<sup>9</sup>, Krahl and Knebel<sup>10</sup>, Muraki *et alii*<sup>11</sup>). En este caso, lo ideal sería que los atletas colocaran el pie de batida, de tal forma que el eje longitudinal del pie esté alineado con la dirección final de la carrera. Sin embargo, la mayoría de los saltadores colocan el pie alejándolo de su eje longitudinal. Por esta circunstancia, la fuerza de reacción que se genera en el suelo por efecto del empuje horizontal, al no estar alineado con el eje longitudinal del pie, provoca una pronación de la articulación del tobillo, que de ser muy severa, puede llegar a dañar esa estructura.

Para el diagnóstico del grado de pronación que sufre la articulación tibioastragalina se utiliza el valor del eje que denominamos (e<sub>3</sub>). Dapena, como ya se indicó
anteriormente en el apartado de fundamentación, aconseja que su valor no sea
excesivamente elevado, procurando que se acerque lo máximo posible a la dirección del
final de la carrera de impulso. No obstante, la experiencia nos demuestra que sus
valores, incluso entre deportistas experimentados, suele ser superior a los valores de
referencia que propone este autor. Valores que no superen los 20° son considerados
seguros para el pie del atleta; valores entre 20-25° suponen cierto riesgo y superar los
25° supondría un grave riesgo para el pie y el tobillo. El valor del eje denominado (e<sub>1</sub>)
proporciona información sobre la parte del pie que más cerca está del listón, de forma
que si ésta fuera el talón, sabremos que ese pie ha entrado demasiado paralelo y que,
posiblemente, va a provocar un valor de muy grande en este eje.

<sup>10</sup> Krahl, H., y K.P. Knebel, "Medizinische and trainingmethodische. Aspecte der absprungphase beim Flop", *Leistungssport*, núm. 6, 1978, pp. 501-506.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Dapena, J., R.M. Angulo-Kinzler, J.M. Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A., Prat, Track and Field: High Jump (Men and Women), opus cit., p. 11-12.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup>Muraki, Y., T. Sakamoto, S. Saito, M. Ae y K. Shibukawa, A 3-Dimensional cinematographical analysis of foot deformations during the take-off phase of the Fosbury-Flop, opus.cit., pp. 762-770.

ATLETA	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	<b>e</b> 3
AO	17°	25°	31°
GB	19°	21°	30°
IP	19°	24°	24°
AB	22°	27°	30°
СР	28°	12°	8°
MP	1 <b>7°</b>	22°	30°
RL	33°	8°	8°
JA	12°	27°	18°
JR	8°	26°	47°
OG	4°	41°	45°
Media	17.9° (33°-4°)	23.3° (41°-8°)	27.1° (47°-8°)
SD	8.7°	8.9°	13.3°

Tabla - 38. Media, rango y desviación típica de los ejes del pie durante la batida (hombres).

A la luz de los datos obtenidos entre los varones de nuestra muestra, no podemos afirmar que la trayectoria excesivamente paralela al listón se manifieste posteriormente en una colocación no adecuada del pie durante la realización de la batida. Aunque los datos obtenidos, especialmente e<sub>3</sub> superan los valores que se estiman como deseables, no varían demasiado de los que habitualmente se suelen encontrar entre especialistas incluso de mayor nivel de rendimiento.

Ahora bien, valores de t<sub>1</sub> ó t<sub>2</sub> muy bajos (trayectoria paralela al listón) no siempre coincide con un valor de e<sub>3</sub> muy elevado (mayor pronación en el tobillo). Así, mientras el saltador CP tenía un ángulo de aproximación para el último paso de 18°, el valor de e<sub>3</sub> era de 8° frente al caso de JR que con una orientación de 17°, su valor de e<sub>3</sub> fue de 47°. Esta situación nos sugiere que para poder analizar este episodio, y su posible incidencia sobre la articulación del tobillo, es necesario tener en cuenta otras variables como la velocidad de carrera, las inclinaciones del cuerpo, el control de las acciones, etc.

ATLETA	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	<b>e</b> <sub>3</sub>
MM	28°	17°	-1°
CC	26°	22°	37°
MMM	17°	33°	44°
Amo	7°	15°	0°
СТ	20°	14°	11°
VF	15°	23°	19°
AMa	22°	4°	-11°
Media	19.3° (28°-7°)	18.3° (33°-4°)	14.1° (44°-1°)
SD	7.1°	9.0°	20.5°

Tabla - 39. Media, rango y desviación típica de los ejes del pie durante la batida (mujeres).

Especialmente relevante parece el bajo valor del parámetro e<sub>3</sub> y su enorme variabilidad (14.1° ± 20.4°.) Podríamos pensar que si los dos o tres últimos apoyos de la carrera de impulso se realizan demasiado paralelos al listón es señal de que no estamos aprovechando el beneficio de una carrera curva, con lo que las posibles inclinaciones del saltador hacia el interior de ésta no son consecuencia de esa trayectoria sino de una posición forzada que, de forma intencionada adopta la saltadora para facilitar las posteriores acciones que le permitan lanzarse hacia el listón.

#### La distancia frontal de la batida

El punto donde el saltador debe realizar la batida dependerá, fundamentalmente, de tres parámetros: la estatura, la altura del listón, la velocidad de aproximación, y además, de los momentos angulares totales y laterales creados en la batida y del nivel técnico del deportista.

ATLETA	DB	Estatura	H-Listón	Н3	%Estatura
AO	1.01	1.93	2.04	0.08	52.33
GB	1.08	1.93	2.08	0.11	55.96
IP	1.17	1.95	2.04	0.03	60.00
AB	0.96	1.88	2.04	0.13	51.06
CP	0.75	1.9	2.12	0.08	39.47
MP	1.05	1.95	2.12	0.08	53.85
RL	1.03	1.92	2.15	0.04	53.65
JA	1.07	1.95	2.21	0.08	54.87
JR	1.19	1.9	2.26	0.09	62.63
OG	0.86	1.84	2.21	0.07	46.74
Media	1.02	1.92	2.13	0.08	53.11
SD	0.13	0.04	0.08	0.03	6.51

Tabla - 40. Distancia del punto de batida respecto al listón (DB). Hombres.

De los análisis realizados por diferentes autores se desprende que cuanto mayor es la altura a franquear mayor será la distancia a la que se tiene que batir. Dapena encontró que en los Juegos Olímpicos de Barcelona, los hombres batían a una distancia de  $0.97 \pm 0.13$  metros (rango: 0.77-1.16 metros), mientras que las mujeres lo hacían a una distancia de  $0.89 \pm 0.13$  metros (rango: 0.72-1.11 metros). En valores relativos, en función de las alturas que ambos grupos alcanzan, vemos que este punto se encuentra algo más alejado en la categoría femenina.

Esta distancia, en la categoría masculina, está alrededor del 50% de su estatura, mientras que en el caso de las mujeres este valor se encuentra cerca del 55%. Es decir, aunque en valores absolutos la distancia de batida es mayor en los hombres, cuando analizamos este punto en valores relativos podemos comprobar como entre atletas altamente cualificados la distancia de la batida de las mujeres es ligeramente superior.

ATLETA	DB	Estatura	H-Listón	Н3	%Estatura
MM	0.92	1.75	1.83	0.08	52.57
CC	1.11	1.88	1.80	0.20	59.04
MMM	1.00	1.79	1.74	0.09	55.87
Amo	0.82	1.79	1.74	0.06	45.81
СТ	0.85	1.76	1.71	0.08	48.30
VF	0.93	1.71	1.67	0.08	54.39
AMa	0.80	1.75	1.67	0.05	45.71
Media	0.92	1.78	1.74	0.09	51.67
SD	0.11	0.05	0.06	0.05	5.19

Tabla - 41. Distancia del punto de batida respecto al listón (DB). Mujeres.

Al comparar los datos de nuestra muestra con los de referencia advertimos que aquellos presentan valores diferentes según el grupo. Los varones se acercan a los valores medios que aparecen en la bibliografía y aunque la media es superior, en el caso de las mujeres, el punto de batida está demasiado cerca de acuerdo a su estatura, aunque adecuados respecto a la altura en la que se encuentra el listón (1.74 ±0.06 metros). En cualquier caso, la dispersión de los valores encontrados (rango: 59.04 % vs. 45.71 %), el análisis de los datos es conveniente hacerlo de manera individualizada.

# **CONCLUSIONES**

- 1. Las velocidades finales que consiguen los sujetos estudiados (hombres y mujeres nacionales) presentan valores diferentes e inferiores (p<0.005) que los que obtienen especialistas de mayor nivel de rendimiento. Estas diferencias se incrementan conforme aumenta el nivel de los saltadores/as utilizados como referencia.
- 2. La trayectoria de la fase curva de la carrera de impulso en los sujetos de nuestra muestra presenta comportamientos acordes a las velocidades utilizadas para entrar a la batida. Su forma responde a las elegidas por los especialistas actuales de esta modalidad atlética predominando la forma parabólica en los dos subgrupos de sujetos (hombres y mujeres).

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Dapena J., R.M. Angulo-Kinzler, J.M. Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A., Prat, *Track and Field: High Jump (Men and Women), opus cit.*, p. 4.

- 3. Los radios en la competición analizada también responden, salvo excepciones individuales, a la dinámica de carrera utilizada por los componentes de la muestra. Su inferior velocidad media respecto a deportistas de mejor nivel de resultados hace que la trayectoria recorrida entre el inicio de la curva y el punto de batida, la altura del C.M. y la altura de salto, respondan a criterios de racionalidad respecto a los radios encontrados.
- 4. Podemos afirmar que para los sujetos de nuestra muestra, la fase más importante de la trayectoria curva corresponde a los últimos pasos de la misma (preparación de la batida). No obstante, mientras que en los varones existen diferencias estadísticamente significativas entre los radios medidos en diferentes puntos de la curva, no sucede lo mismo entre los sujetos de la muestra femenina estudiada.
- 5. Los valores del índice de inclinación propuestos por Dapena et alli<sup>13</sup> se aproximan a los de referencia sólo en el caso de las mujeres (6.14 ± 1.33 m/s² frente a los valores de referencia, 4.18 ± 1.0 m/s²; Los promedios encontrados en los varones de nuestra muestra son ligeramente inferiores (5.94 ± 1.20 m/s² frente a 6.80 ± 0.8 m/s²). Esto nos indica que, según este criterio, nuestras mujeres utilizan radios demasiado pequeños para la velocidad con la que entran a la batida, mientras que en los varones se observa un comportamiento opuesto.
- 6. Las trayectorias curvas de la muestra, en la que los radios son pequeños respecto a los de referencia observados en saltadores internacionales, no impide a nuestros sujetos ejecutar desplazamientos adecuadamente orientados en sus apoyos y con una suficiente inclinación hacia el interior de la curva. Esta respuesta técnica favorece la transición correcta del saltador hacia el punto de batida.
- 7. Dichas acciones permiten una buena correlación entre el radio utilizado y los momentos angulares, frontales y laterales, que consiguen nuestros saltadores/as en el momento de la batida, coherentes a su nivel de prestación.
- 8. El ritmo de carrera de los dos subgrupos de estudio (hombres y mujeres) se identifican con la dinámica de aumentar progresivamente la frecuencia de paso y disminuir la amplitud de los mismos desde que se inicia la curva hasta que se realiza

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Dapena, J., M. Ae y A. Iiboshi, "A closer look at the shape of the high jump run-up", art., cit., p 4409.

la batida. Este perfil no corresponde en sus valores medios, a la tendencia que en ocasiones se observa en algunos especialistas que alargan el penúltimo paso respecto a su anterior. Sin embargo, la dinámica de carrera de nuestra muestra se acompaña de apoyos cada vez más reactivos y de menor duración.

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- 1. Después de los resultados obtenidos, creemos necesario sugerir la elaboración de un baremo individualizado sobre el radio de la curva y el índice de inclinación propuesto por Dapena e Iiboshi que se ajuste a criterios como el sexo, la edadnivel de maduración y nivel de desarrollo de la fuerza y de la velocidad, con el objeto de identificar comportamientos técnicos que pueden ser de utilidad al entrenador o para el propio atleta.
- 2. Sería interesante abordar los aspectos cinemáticos y cinéticos de forma paralela para un estudio de la carrera de impulso de los saltadores de altura más completo.

# ANÁLISIS DE LA BATIDA EN EL SALTO DE ALTURA ESTILO FOSBURY-FLOP

# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La batida, en el salto de altura, es un período que transcurre desde el instante en que el pie de impulso toca el suelo hasta el momento en que la punta de éste lo abandona para iniciar la fase de vuelo. En dicho periodo se debe transformar la carrera de aproximación en una proyección del cuerpo por encima del listón. El conjunto de las acciones que componen este movimiento y que coincide con el último apoyo de la carrera se orientan en una sola dirección, invirtiendo los valores de la componente horizontal y vertical de la velocidad con la que se desplaza el centro de masas (en adelante: C.M.) de un atleta durante su carrera. Para una mejor comprensión de esta parte del salto, en la figura 1 se muestran seis imágenes de un salto de la cubana Silvia Costa sobre una altura de 2.03 metros. Estos fotogramas fueron registrados durante el transcurso de un meeting internacional del Grand Prix celebrado en Colonia el 20 de agosto de 1989.



Fig. 1 Secuencia de una batida estilo fosbury-flop.

## Objetivo de la batida

Todos los especialistas consideran la batida como una acción determinante en el éxito de esta modalidad atlética. Así, López¹ define la batida como la fase culminante del salto, en el transcurso de la cual el deportista aprovecha la energía cinética adquirida en la carrera de aproximación para convertirla en velocidad ascensional. Con tal fin, el deportista realiza una serie de mecanismos que Schmolinsky² describe como la acción de frenar la velocidad horizontal de llegada, la generación de una alta velocidad vertical con el óptimo ángulo de elevación y la obtención del necesario momento angular de giro que le permita franquear el listón. Para una mayor eficiencia, estos movimientos deben estar auxiliados por el impulso de los brazos y pierna libre. Donskoi³ señala que la batida "consiste en garantizar la máxima magnitud del vector velocidad inicial del C.M. del cuerpo y su dirección óptima".

Primakov<sup>4</sup> et alii encuentran una elevada relación entre las fuerzas desarrolladas en la batida y la altura de salto (r = 0.759). Evidentemente, mediante esta acción técnica el saltador aumenta significativamente la componente vertical con el objeto de proyectar el centro de gravedad sobre un punto lo más elevado posible lo que le permitirá ser más eficaz en el momento de superar el listón. La combinación de la velocidad hacia adelante y arriba del CM en el momento de abandonar el suelo y la fuerza de la gravedad son los parámetros que hacen que este punto del cuerpo (C.M.) siga una parábola adecuada de vuelo. Con esta finalidad, Vélez<sup>5</sup> indica que el principal objetivo de la batida es coordinar las fuerzas internas y externas, tanto inerciales como de rebote, para lograr la máxima velocidad vertical de salida y generar las condiciones que nos permitan el franqueo del listón. Para lograrlo, durante el tiempo que dura la batida, se busca generar la máxima tensión posible (componente vertical de la fuerza desarrollada) con la pierna de batida, a la vez que debe colocar de forma óptima todos los segmentos corporales para poder elevar al máximo el centro de gravedad en el momento final de la

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> López, F., Salto de altura, Escuela Nacional de Entrenadores y Real Federación Española de Atletismo, Madrid, 1983, p. 36.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Schmolinsky, G., Atletismo, Ed. A. Pila-Teleña, Madrid, 1981, p. 266 y p. 281.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Donskoi, D y V. Zatsiorski, Biomecánica de los ejercicios físicos, Ed.Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1988, p. 222.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> I.N. Primakov, I.V. Lazarev, V.G. Konestiapin, "Salto de altura", [Material didáctico para estudiantes y oyentes de la Facultad de Capacitación Profesional del Instituto Central de Educación Física Orden de Lenin], traducción de D. Álvarez y M. Vélez, Moscú, 1986, p.18.

impulsión. De ser así, el saltador podrá iniciar el vuelo con la mayor velocidad vertical del C.M. en el momento final de la batida. Dapena<sup>6</sup> señala que durante esta fase, el saltador ejerce fuerzas que determinan la máxima altura del C.M. alcanzada después de abandonar el suelo y el momento angular que el cuerpo tiene durante el franqueo del listón.

#### Desarrollo de fuerza durante la batida: Generalidades

Las fuerzas generadas por un deportista durante la realización de un gesto técnico son las responsables de su dinámica, permitiendo las aceleraciones o cambios de dirección que necesita para asegurar la máxima eficiencia en dicho movimiento. Para describir la relación de la fuerza y el movimiento, el físico inglés Isaac Newton en 1687 enunció las tres leyes fundamentales de la física: Ley de la Inercia (Primera Ley de Newton); Ley de la aceleración (Segunda Ley de Newton); Ley de Acción y Reacción (Tercera Ley de Newton).

La tensión desarrollada durante la batida es el resultado de amortiguar la inercia del cuerpo y de provocar una reacción de empuje del pie contra el suelo, igual o superior en magnitud pero en sentido contrario, durante la fase final de realización de la batida (tercera ley de Newton). Tancic<sup>7</sup> señala que el impulso desarrollado en una batida de salto de altura depende de la carrera y su velocidad, de los movimientos de impulso de los brazos y de la pierna libre, así como de la acción de la pierna de impulso. Esta fuerza aplicada sobre el C.M. del saltador, siempre que el tiempo de aplicación sea óptimo, es la que determinará la velocidad con la que éste salga proyectado hacia el listón

Esto obliga a poseer unos elevados niveles de fuerza reactiva en la musculatura extensora de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera del deportista que le permitan desarrollar, por ese mismo orden, magnitudes de amortiguación y empuje adecuados

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Vélez, M., "Salto de altura", 1999. [Apuntes para los Cursos de la Escuela Nacional de Entrenadores]

<sup>6</sup> Dapena, J., "The Fosbury-flop Technique", *Track and Field Quarterly Review*, vol. 80, núm. 4, 1980, pp. 22-27.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Tancic, D., "Biomecánica de la técnica moderna de salto de altura", En *Entrenamiento alto nivel: saltos,* E.N.E. y R.F.E.A., Madrid, 1988, p. 28.

para realizar una batida idónea. Pero, el saltador no solo necesita ser capaz de producir grandes niveles de fuerza sino que éstos sean aplicados en tiempos muy cortos.

El cuerpo en movimiento del saltador debe crear, durante la batida, la cantidad de movimiento (Cantidad de Movimiento ó Impulso = Fuerza desarrollada x Tiempo de Batida; N.s) suficiente para contrarrestar la desaceleración que sufre el C.M. al inicio de la batida y acelerar su movimiento ascensional en la fase concéntrica de dicho movimiento. En la figura siguiente, se muestra el dinamograma de la batida tomado de Ratov y Muraviov<sup>8</sup>.

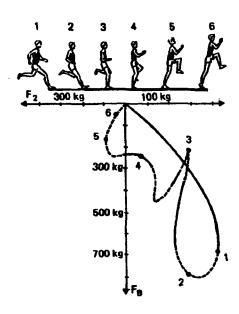


Fig. 2 Dinamograma de la batida de un salto de longitud.

En el primer contacto con el suelo o fase de impacto (imágenes 1 y 2), el deportista soporta su peso corporal. La energía cinética que arrastra y la fuerza ejercida por la oscilación de brazos y pierna libre, momento donde las fuerzas soportadas por la musculatura antes citada son más elevadas (hasta diez veces el peso corporal en saltadores de nivel internacional), disminuyen sensiblemente durante la siguiente subfase de amortiguación (imagen 3). Durante la fase de impulso (imágenes 4 a 6), se incrementan nuevamente, aunque con menor intensidad (hasta seis o siete veces el peso corporal).

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Cfr. D. Donskoi y V.M. Zatsiorski, Biomecánica de los ejercicios físicos, opus cit., p. 223.

### La medición de fuerzas desarrolladas en la batida

Los niveles de fuerza que desarrolla el saltador en una batida estilo fosbury-flop no han podido ser evaluados durante la participación del deportista en competiciones oficiales. Sin embargo, hemos analizado algunos trabajos donde han sido evaluados los tipos de fuerzas desarrolladas por deportistas experimentados (Aura y Vitasalo<sup>9</sup>; Deporte y Van Gheluwe<sup>10</sup>: Primakov<sup>11</sup> et alii; Lazarev<sup>12</sup> et alii; Isolehto y Komí<sup>13</sup>).

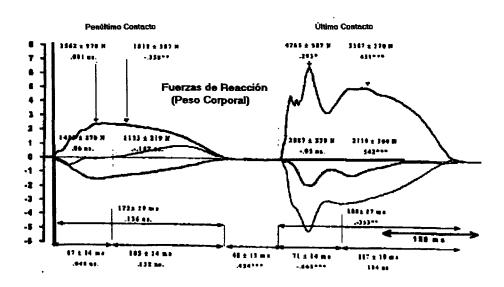


Figura 3. Dinamograma de los dos últimos apovos de un salto de altura estilo fosbury-flop.

De estos estudios destacan los realizados por Isolehto y Komí que analizaron la batida de 14 atletas (7 saltadores de altura y 7 decatletas) que aunque tenían registros personales importantes (2.10 - 2.30 metros), las alturas de los saltos analizados en el estudio eran de menor categoría 1.98 ± 0.12 metros, condicionando los resultados

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Aura, O. y J.T., Viitasalo, "Biomechanical characteristics of jumping", International Journal Sport Biomechanics, vol. 5, num. 1, 1985, pp. 89-98. [Traducción de Covadonga Mateos y Miguel Vélez, en, Fuerza y capacidad de Salto, (eds) CAR y R.F.E.A., Barcelona, vol. I, 1990]

Deporte, E. y Bart Van Gheluwe, "Force plataform data in elite high jumping: Competition versus training conditions", Techniques in Athletics, Libro de Actas Congreso de Colonia, 7 a 9 de Junio, 1990, p. 763. 11 Primakov, IN., I.V. Lazarev y V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art. cit., pp. 16-22.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Lazarev, IV., N.G. Mijailov, N.A., Yakunin, y L. de la Paz, "Aspectos biomecánicos del salto de altura con carrera de impulso", Boletín Científico Técnico. INDER, Cuba, 1984, vol. 19, núm., 1984, pp. 39-49.

finales. En dichos saltos, los picos de fuerza alcanzados fueron de  $4.765 \pm 339$  N (fase de amortiguación o fase excéntrica), por  $3.298 \pm 609.3$  N de la fase de impulso en el plano antero - posterior y  $1.227 \pm 226.5$  N del plano medio- lateral. Los gráficos en la figura 3, muestran un ejemplo de las fuerzas desarrolladas en la batida y penúltimo apoyo de un salto de altura estilo *fosbury flop* medidos por los citados autores.

Aura y Viitasalo<sup>14</sup> observaron en cuatro saltadores con registros entre 2.12 y 2.24 metros que durante la fase de amortiguación, la cadena muscular extensora del miembro inferior trabaja de manera excéntrica durante un tiempo de 75 ± 11 milisegundos, lo que suponía el 42.37 % del tiempo medio de las batidas controladas (177 ± 13 milisegundos). Estos mismos autores encuentran picos de fuerza de 6.950 ± 1519 N en la primera fase de la batida y de 4.575 ± 552 N en la segunda. Estas conclusiones no difieren mucho de los valores encontrados por Deporte y Van Gheluwe<sup>15</sup>, quienes ilustran, para ambos momentos (amortiguación e impulso), valores de fuerza de 6.357 ± 607 N y 4.65 ± 691 N, en saltadores masculinos de 2.26 ± 0.07 metros. Por último, mencionar los valores vertidos por Primakov *et alii* <sup>16</sup> para maestros del deporte señalando, de forma pormenorizada, los que corresponden a cada fase del impulso (F<sub>21</sub>: 26%; F<sub>22</sub>: 10%; F<sub>23</sub>: 68%; F<sub>24</sub>: 3%; F<sub>25</sub>: 30%) según el tipo de batida realizada (F<sub>21</sub>: 2532-2683 N; F<sub>22</sub>: 2202-1901 N; F<sub>23</sub>: 2944-3590 N; F<sub>24</sub>: 2070-2231; F<sub>25</sub>: 2256-4000 N y 2452-3500 N respectivamente).

Lazarev et alii<sup>17</sup> señalan que durante la colocación de la pierna en el lugar de despegue, la fuerza de reacción alcanza valores que oscilan entre 3433.5 y 5586 N, en la componente vertical. Aproximadamente los mismos valores que alcanza la componente vertical en la fase de amortiguación, al tiempo que, con el aumento del nivel del saltador, este índice disminuye y la magnitud de la componente vertical, en la fase de despegue activo, aumenta. Según estos autores, los valores máximos de la componente horizontal en la fase de amortiguación, cuando se compara con saltadores de diferente

<sup>15</sup> Deporte, E. y B. V. Gheluwe, *art. cit.*, p. 763.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Isolehto, J., P.V. Komí, "Ground reaction forces during the fosbury-flop", Congreso de Ciencias del Deporte. Libro de abstract, 2002, p. 1081.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Aura, O. y J.T. Viitasalo, "Biomechanical characteristics of jumping", art. cit. pp. 4-5.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Primakov, IN., I.V. Lazarev y V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art. cit., p. 16-17.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Lazarev IV., N.G. Mijailov, N.A., Yakunin, y L. de la Paz, "Aspectos biomecánicos del salto de altura con carrera de impulso", art. cit., p.44.

calificación, las diferencias son evidentes, alcanzando valores que pueden ir desde los 1618.6 a los 4610.7 N.

De los resultados de estos trabajos, se deduce que la ejecución de la batida viene determinada por la fuerza que sea capaz de desarrollar el deportista en esta fase, y en consecuencia, la altura del vuelo. Ozolin y Voronkin<sup>18</sup> señalan que para conseguir una batida más potente y, en consecuencia, una mayor velocidad en el momento del despegue, es necesario conseguir una mayor velocidad en la carrera de aproximación, un menor tiempo de batida y un incremento del movimiento pendular de los segmentos libres con especial aportación de la pierna libre.

### Descenso del C. M. al inicio de la batida

La capacidad de poder proyectar el C.M. hacia el listón en el momento del empuje, el saltador debe generar la máxima fuerza posible y, para ello, precisa activar los mecanismos elásticos reflejos de la musculatura anteriormente descrita. Para alcanzar este objetivo, esta cadena muscular (extensora del miembro inferior) debe optimizar al máximo los impulsos parciales que se producen durante la fase de amortiguación de la batida [el peso corporal, la fuerza de gravedad, la inercia que adquiera en la carrera (Arampatzis<sup>19</sup>), y las fuerzas que provoquen los segmentos libres (brazos y pierna libre) [Nigg<sup>20</sup>; Hay<sup>21</sup>; Luhtanen y Komí<sup>22</sup> y Vitassalo<sup>23</sup> et alii; Ae<sup>24</sup> et alii; Dapena<sup>25</sup>; Harman<sup>26</sup> et alii; Boudolos<sup>27</sup>].

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Ozolin, NG. y V.I., Voronkin, Atletismo, Ed. Pueblo y educación, Moscú, 1979.

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> Arampatzis, A., *High jump*, I.A.A.F., 1997. [Informe científico sobre el VI Campeonato del Mundo de Atletismo, celebrado en Atenas 19971

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Nigg, B., J. Waser y T. Biber, Hochsprung, Sprung, Springen, Sprünge, Ed. Benno Nigg, Zurich, 1974, p. 101.

21 Hay, J.G., The biomechanics of sport techniques. Prentice Hall, New Jersey, 41993, p. 451.

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> Luhtanen, P. y P.V. Komi, "Segmental contribution to forces in vertical jump", European journal of applied physiology, RFA, vol. 38, núm. 1, 1978, pp. 41-48.

Viitasalo, JT., O.Aura y P. Luhtanen, "Biomechanische und antropometrische aspekte des hochsprung", Leistungsport, RFA, núm. 2, 1982, pp. 146-151.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Ae, M., K. Shibukawa, S. Tada, Y. Hashihara, "A biomechanical analysis of the segmental contribution to the take-off of the one-leg running jump for height", En En Matsui, H., and Kobayashi, K, (eds.), Biomechanics VIII-A & B: proceedings of the Eighth International Congress of Biomechanics, Nagoya, Japan, Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers, 1983, p. 737-745.

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Dapena, J., "Basic and applied research in the biomechanics of high jumping", Medicine Sport Science, vol. 25, pp. 29, 1987.

Harman, E.A., M.T. Rosenstein, P.N. Frykman y R.M. Rosenstein, "The effects of arms and contermovement on vertical jumping", Med. Sc. Sports Exerc. Indianapolis, vol. 22, núm. 6, 1990, pp. 825-833.

Con esta finalidad, el saltador, una vez que el pie de batida contacta con el suelo, y para aumentar su recorrido vertical, deberá tomar una posición lo más baja posible de su C.M. [Niggs et alii<sup>28</sup>: 0.38-0.48 metros; Conrad y Ritzdorf<sup>29</sup>: (H: 0.41-0.61 - M: 0.31-0.39 metros)], siempre que ello no vaya en detrimento de una pérdida ostensible de velocidad y asegurándose de que dicha acción sea eficaz para el salto y ajuste al potencial de fuerza de la musculatura de su pierna. Niggs<sup>30</sup> señala que, para un mismo atleta, existe una relación directa entre el recorrido vertical del CM durante la batida y la altura de vuelo que posteriormente logra. Dicha relación viene determinada por la velocidad ascensional del C.M. al final del impulso, que a su vez correlaciona con la trayectoria ascendente del C.M. durante la batida y, en consecuencia, por la altura de este punto al inicio de esta fase del salto  $(H_1)$ . Sin embargo, esto no siempre es así, ya que depende de los niveles técnicos y condicionales del saltador. Cuando el atleta es lo suficientemente fuerte, se podrá hacer una carrera de aproximación larga, entrar a mucha velocidad, bajar suficientemente el C.M. y no hundir la batida logrando una buena velocidad ascensional. Véase en la figura siguiente la relación entre la velocidad vertical al final de la batida (Vz) y la altura del C.M. al inicio de la misma (H<sub>0</sub>), Dapena<sup>31</sup> et alii.

<sup>28</sup> Niggs, B., opus cit., p. 80.

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> Boudolos, K.D., "Jumping performance of young girls in track and field", *Libro de Actas*, *Congreso Europeo de Ciencias del Deporte*, Atenas, 2002.

Conrad, A. y W. Ritzdorf, "Biomechanical analysis of the high jump", En, Scientific Research Project at the Games of the XXIV the Olympiad Seoul 1988, Mónaco, I.A.F., 1990, pp. 197.
 Nigg, B., Ibidem, p. 81.

Dapena, J., McDonald, C., Cappaert, J. "A regression analysis of high jumping tecnique", *International Journal of Sport Biomechanics*, vol. 6, núm. 3, 1990, p. 253.

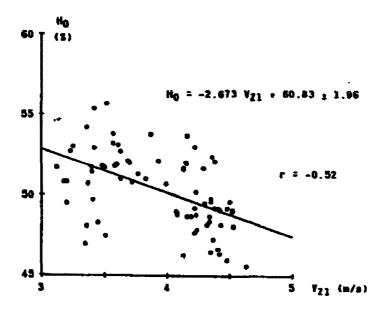


Fig. 4. Relación entre la velocidad vertical al final de la batida y la altura del C.M. al inicio de la misma.

Para lograrlo, una de las claves principales estriba, con independencia de la inclinación hacia el interior de la curva y la posición retrasada del tronco, en aumentar el ángulo de flexión de la articulación de la rodilla durante el tiempo que dura la batida. Esto permite aumentar el tiempo durante el que se desarrolla fuerza contra el suelo y conseguir el curso óptimo de aceleración. Tal acción desciende el centro de masas, aproximadamente 0.30 metros por la acción de los brazos y de la pierna libre (Dapena y Chung<sup>32</sup>), autores que coinciden con los valores propuestos por Dimitriev<sup>33</sup>.

Algunos de los aspectos más relevantes en el descenso, y posterior recorrido vertical del C.M. durante la trascendental fase de la batida, están relacionados con los ángulos que adoptan las articulaciones del tobillo, la rodilla y la cadera. Lazarev et alii<sup>34</sup> plantean dos criterios respecto a este punto. El primero de ellos responde a la idea de algunos técnicos que consideran que en el instante de la colocación de la pierna de batida, ésta se encuentre extendida en la articulación de la rodilla. Sin embargo, otros datos experimentales demuestran que el ángulo de flexión de dicha articulación, en el

Dimitriev, V., "The fosbury flop: basic structure of the take-off", Soviet Sports Review, vol. 21, núm.4, 1986, pp. 167-171.

<sup>&</sup>lt;sup>32</sup> Dapena, J. y C.S. Chung, "Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jump", *Medicine and Science in Sports Exercise*, vol. 20, núm. 3, 1988, p. 295.

fosbury flop, se aproxima a los valores de 152°-168°. El ángulo de máxima flexión de la articulación de la rodilla que proponen los autores es de 140°-155°, centrando la importancia en el trabajo de extensión de la articulación coxofemoral, a diferencia de lo que ocurría en la técnica del *rodillo ventral* donde se daba más importancia a la extensión que se realizaba con la articulación de la rodilla.

Por su parte, Conrad y Ritzdorf <sup>35</sup> expresan que el ángulo de esta articulación al iniciarse la batida oscila entre los 165°-175°, llegando a los 130°-155° durante la fase de máxima flexión al final de la amortiguación, lo que supone una disminución (flexión) de entre 20°-35°. Arampatzis<sup>36</sup> da valores de 163° ± 11° y 164.4° ± 5.1° para el ángulo de máxima flexión de dos grupos, calificación y final de los saltadores participantes en el Campeonato del Mundo de Atenas-97. Estas acciones son las que proporcionan las fuerzas, y el tiempo de aplicación de las mismas que determinarán la velocidad con la que sale proyectado el CM al final de la batida.

Con respecto a la cadera, los autores señalan que en el momento de la colocación de la pierna de impulso, el ángulo de la articulación coxofemoral debe ser menor de 180° (ángulo tronco-muslo de la pierna de batida en TD), pero recordando que otros especialistas manifiestan menores angulaciones y lo justifican porque es el momento en el que se inicia la extensión de esta articulación. Krazhev<sup>37</sup> et alii, haciendo referencia a las saltadoras plantean que el grado de máxima flexión de la articulación de la cadera se produce al inicio de la batida y oscila entre los 135°-160°.

Estos valores nos indican que, para la creación de una mayor velocidad vertical y el aumento de la velocidad del péndulo, es necesario realizar un movimiento adelante-arriba de la cadera y, por otra parte, la extensión constante de la articulación coxofemoral resulta imposible por la existencia de una fase de amortiguación en los primeros instantes de la batida. En los documentos ya mencionados de Primakov se señala que en los atletas de baja categoría la angulación no sobrepasa los 160°, existiendo mayor flexión entre los saltadores menos cualificados.

<sup>35</sup> Conrad, A. y W. Ritzdorf, "Biomechanical analysis of the high jump: *art. cit.*, p.203. Arampatzis, A., *opus cit.*, p. 7.

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> Lazarev, IV., N.G. Mijailov, N.A. Yakunin y L. de la Paz, "Aspectos biomecánicos del salto de altura con carrera de impulso", *art. cit.*, p. 41.

En la articulación del tobillo, el ángulo inicial que forma el pie con la pierna de batida está alrededor de los 140°, disminuyendo durante la fase de amortiguación hasta aproximadamente 90° y terminando al final de la batida en una posición entre 140°-150°. Teóricamente, lo ideal sería llegar al apoyo con una ligera flexión dorsal y terminar con la máxima extensión posible de la articulación. Normalmente, entre saltadores experimentados, estos valores, expresados en su recorrido, suelen ser significativamente mayores que entre saltadores de menor nivel, disminuyendo paralelamente el recorrido que realiza la articulación de la rodilla. Para optimizar aún más este movimiento, sería necesario que ese amplio recorrido fuese realizado con la mayor velocidad posible. Krazev<sup>38</sup> et alii citan velocidades angulares superiores a los 20 radianes / segundo en saltos analizados a Stefka Kostadinova.

Existe controversia entre los especialistas sobre la magnitud del descenso del C.M. durante la batida. Mientras Dapena<sup>39</sup> enfatiza esta acción de bajar el C.M. al inicio de la batida con el fin de incrementar su posterior recorrido vertical y tiempo durante el cual el saltador aplica fuerza con la pierna de impulso, otros entrenadores son contrarios a exagerar esta acción en la técnica *fosbury-flop*, argumentando que no permite un adecuado aprovechamiento de la fuerza de origen elástico refleja. En cualquier caso, este movimiento de flexión de la rodilla de la pierna de batida, así como la colocación del cuerpo y de los segmentos libres, hace que el C.M. se encuentre en una posición más baja que la que posteriormente tendrá en el momento del despegue.

Del estudio de los principales saltadores/as mundiales se observa que la altura que tiene el C.M. al inicio de la batida es de aproximadamente un 45-50% de la estatura del deportista. Dapena apunta valores ligeramente mayores para las mujeres (48.4-52.7%) y plantea que las estrategias que debe seguir un saltador/a, respecto a esta variable, debe responder a las características morfológicas y físicas del atleta, algo similar a lo que ocurre con la utilización de los segmentos libres durante la batida. Tancic 1, por su parte, afirma que va a depender de la variante técnica empleada. En cualquier caso, la realidad nos demuestra que existe un descenso, más o menos acentuado, durante la

<sup>&</sup>lt;sup>39</sup> Dapena, J., "Basic and applied research in the biomechanics of high jumping", *art. cit.*, pp. 27. Dapena, J., *Ibidem*, p. 25.



<sup>&</sup>lt;sup>37</sup> Krazev et alii, opus cit.

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> Ibidem,

batida o en los pasos previos de preparación de la misma. Dapena y Chung <sup>42</sup> plantean tres estrategias fundamentales que describen tres tipos de saltadores diferentes:

- Tipo I. Son atletas que inician el descenso del C.M. tres apoyos antes de la batida disminuyendo ligeramente la velocidad vertical al inicio del último apoyo.
- Tipo II. Es un tipo de saltador que corre la curva relativamente alto bajando únicamente el C.M. en el último apoyo, provocando una importante pérdida de velocidad en el inicio de la batida.
- Tipo III. Corresponde aun tipo de saltador que desciende, también, el C.M. igual que el primer grupo, pero con una ligera elevación durante el penúltimo apoyo.

# Influencia de las inclinaciones del tronco en la altura del C. M. al inicio de la batida

La necesidad de correr en curva, durante la segunda parte de la carrera de aproximación al listón, obliga al saltador a inclinar el tronco hacia el interior de la misma y compensar, de esta manera, el efecto que genera la fuerza centrífuga. De esta forma, el deportista inicia la batida con una inclinación en el plano frontal (lateral) con un descenso del C.M. mayor que si la postura del cuerpo fuera vertical. A esta posición se debe sumar la inclinación atrás que se produce al adelantar activamente la pierna de batida respecto al C.M. y favorecer la transformación de las componentes vertical y horizontal de la velocidad que lleva este punto del cuerpo al final de la carrera. Ambas posiciones son, en gran medida, determinantes de la altura que tiene el C.M. al inicio de la batida.

<sup>&</sup>lt;sup>41</sup> Tancic, D., "Técnicas modernas del salto de altura", opus cit. p. 36.

<sup>&</sup>lt;sup>42</sup> Dapena, J. y C.S. Chung, "Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jump", art. cit., pp. 295.

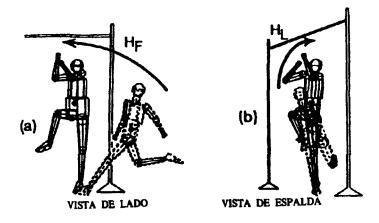


Fig. 5. a) Inclinaciones atrás - adelante y b) lateral del tronco en la batida.

La trayectoria final que realiza este punto hasta la posición de despegue, además de crear importantes momentos angulares (H<sub>F</sub>: momento angular frontal y H<sub>L</sub>: momento angular lateral) que afectan a la fase de vuelo, también determina la trayectoria vertical del C.M. y su efecto sobre la aplicación de fuerzas y la velocidad vertical con la que el deportista logra despegar del suelo. Los dibujos anteriores reflejan las posiciones del cuerpo en la llegada y salida en una batida del salto de altura y sus correspondientes trayectorias en los planos frontal y sagital, tomado de Dapena<sup>43</sup>.

# PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS EN EL ESTUDIO DE LAS INCLINACIONES Y TRASLACIONES QUE REALIZA EL CUERPO DURANTE LA BATIDA

Hemos constatado que se siguen diferentes metodologías para evaluar las posiciones que adopta el cuerpo, respecto a los planos frontal y sagital, tanto al inicio como al final de la batida. Esto dificultó los análisis comparativos que se llevaron a cabo en este trabajo debido al desconocimiento de la exactitud de los protocolos. Por este motivo, se debe ser actuar con cautela a la hora de interpretar algunos de los valores.

En primer lugar, abordaremos el planteamiento propuesto por el prestigioso profesor español Jesús Dapena, del Departamento de Kinesiología de la Universidad de Indiana, quien determina las inclinaciones con las que el saltador entra a la batida, así como a las traslaciones que realiza con el cuerpo a lo largo de ella a partir de los

ángulos que forman dos ejes o planos que tienen como punto de intersección el C.M. y cuyas direcciones van, en un caso, hacia el cortex, y el otro discurre, paralelo al suelo, hacia el interior de la curva o hacia atrás, como se puede observar en la siguiente figura<sup>44</sup>:

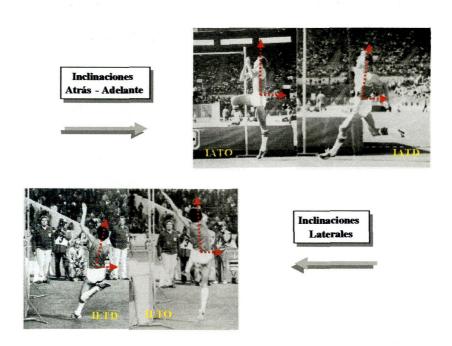


Fig. 6. Propuesta metodológica de J. Dapena.

Otro protocolo es el que siguen los biomecánicos alemanes Conrad y Ritzdorf, que conocemos a través de los informes llevados a cabo sobre los Juegos Olímpicos de 1988 y en el Campeonato de Mundo en 1987, cuyos datos hemos utilizado como muestra de referencia. Sin embargo, en el Campeonato del Mundo Junior celebrado en Atenas en 1986 o el Campeonato de Europa de Sttutgart de 1986, cuyos datos no hemos utilizado en la muestra de referencia aunque sí en ejemplos concretos como datos aislados, se emplearon metodologías diferentes a los anteriores campeonatos citados (1987 y 1988).

<sup>&</sup>lt;sup>43</sup> Dapena, J., "Análisis biomecánico del fosbury-flop", En Seminario Europeo de Saltos, E.N.E. y R.F.E..A., Madrid, 1990, p.19.

<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> Con respecto a los fotogramas que presentamos en las figuras 6 y 7 debemos aclaramos que las flechas no indican vectores, sino que representan ejes, salvo en el caso de nuestra propuesta que sí representan vectores (fig. 8).

En los campeonatos de Roma y Seúl, el análisis utiliza como punto de intersección de los ejes la punta del pie de batida en las inclinaciones laterales, tal y como se observa en la imagen siguiente, los ejes se dirigen en un caso hacia el C.M y hasta la punta del pie de apoyo y el otro hacia el interior de la carrera curva y paralelo al suelo. Los ángulos del plano sagital se definen por la inclinación del tronco respecto a la horizontal que pasa por la cadera.

En los campeonatos de Stuttgart y Atenas, las inclinaciones se toman de forma diferente en el plano sagital; en este caso, el ángulo que se utiliza es el formado por el suelo y la línea que une el pie de apoyo con el C.M. desde la parte posterior del sujeto.

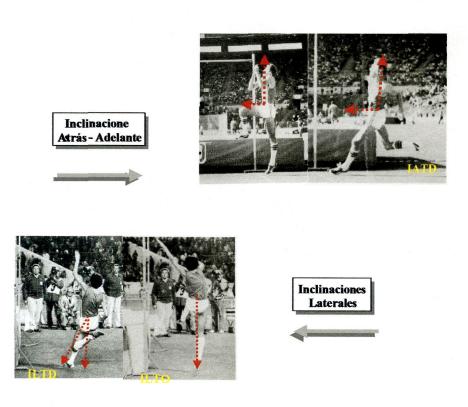


Fig. 7. Propuesta metodológica de Conrad y Ritzdorf (Roma y Seúl).

La propuesta metodológica que hemos seguido en esta investigación a la hora de calcular las inclinaciones, se corresponde con el protocolo que aplican en el laboratorio de Biomecánica del Centro de Alto Rendimiento de San Cugat y que coincide con la propuesta del profesor Dapena.

Sin embargo, nos planteamos buscar otra metodología debido al interés que teníamos a raíz de observaciones realizadas sobre atletas de élite, que aún teniendo el tronco prácticamente vertical, sus piernas corren inclinadas. Esta manera de colocarse parece ser menos efectiva, y es catalogada de principiante. Este hecho se nos presentó como muy sugerente, tal y como acontecía en el caso del saltador Conway que Dapena referenció en sus informes de los JJ.OO. de Barcelona-92. Las inclinaciones tomadas desde el tronco con el plano horizontal y el C.M. no corresponden a la realidad, por lo que se decidió la conveniencia de exponer otro tipo de procedimiento que manejaran las inclinaciones de forma más precisa. En este caso, estos valores se determinan a partir de utilizar el vector velocidad (plano que incluye al C.M. y el C.M. respecto al suelo) vectores que, partiendo del C.M., uno se dirige hacia la punta del pie de batida y el otro lo hace perpendicularmente hacia el suelo. Es decir, frente a los cálculos de las inclinaciones del tronco (Dapena), esta propuesta calcula la posición del C.M. frente al apoyo.

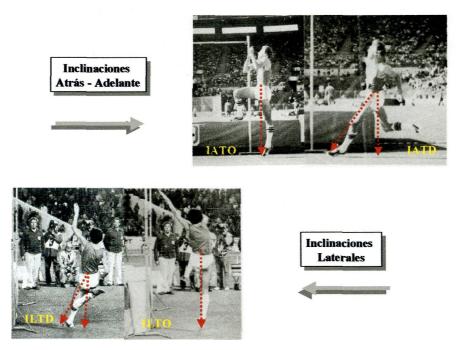


Fig. 8. Propuesta metodológica para nuestro estudio.

#### Altura del C. M. al final de la batida

Es evidente que iniciar el salto con el C.M. colocado en el punto más alto posible resulta, a priori, una enorme ventaja y la posibilidad de poder superar alturas más elevadas. Para ello, se busca que el deportista coloque su cuerpo y los segmentos libres en la posición más adecuada para conseguir este objetivo. Dapena<sup>45</sup> señala que en el instante en el que el pie de batida despega del suelo, el C.M. de un saltador está a una altura equivalente al 70-75% de su estatura. Lazarev *et alii*<sup>46</sup> señalan que este valor responde a criterios individuales, marcando como valor ideal el 73% de la talla del sujeto. En cualquier caso, otros estudios nos muestran valores de referencia que no difieren ostensiblemente de las propuestas por los autores antes mencionados.

Autor	Año	Valor de Referencia
Nigg <sup>47</sup>	1974	71 %
Van Gheluwe <sup>48</sup> et alii	1979	71 %
Dapena <sup>49</sup>	1980	71 % ± 2
Viitasalo <sup>50</sup> et alii	1982	66 % ± 3
Lazarev et alii	1984	73 %
Dapena	1990	70 – 75 %

Tabla - 1. Altura del C.M. al inicio de la batida de salto de altura

Este punto, que Hay<sup>51</sup> denominó H<sub>1</sub>, depende, en primer lugar, de las características antropométricas del deportista, pero también de la variante técnica que emplee el saltador (tijeras, *rodillo*, *fosbury-flop*, etc.) y de la eficiencia que logre de la misma. La figura que presentamos a continuación pone de manifiesto los cambios en la

<sup>&</sup>lt;sup>45</sup> Dapena, J., "Análisis biomecánico del Fosbury – Flop", opus cit., p. 16.

<sup>&</sup>lt;sup>46</sup> Lazarev, IV., N.G. Mijailov, N.A. Yakunin, y L de la Paz, "Aspectos biomecánicos del salto de altura con carrera de impulso", *art. cit.*, p. 40.

<sup>&</sup>lt;sup>47</sup> Nigg, B., opus cit., p. 80.
<sup>48</sup> Van Gheluwe y B., V. van Dominck, "Comparative cinematographic study of the flop and the straddle technique in high jump", En, A. Ayalon, (ed.), Biomechanics of sports games and sports activities, Netanva, Israel, Vingate Institute for Physical Education and Sport, 1979, pp. 72-79.

<sup>&</sup>lt;sup>49</sup> Citado por Muller, A.F., "Biomechanik des Hochspungs", en, Ballreich, R. y A. Kuhlow, *Biomechanik der Leichtathletik*, Enke, Verlag, Sttutgart, 1986, p. 55.

Viitasalo, JT., P. Aura y P. Luhtanen, "Biomechanische und antropometrische Aspekte des hochsprung", art., cit. p. 15.

<sup>&</sup>lt;sup>51</sup> Hay, J.G., The biomechanics of sport techniques, opus cit., p. 440.

altura del C.M. según la posición de los segmentos libres tomado de Wirhed<sup>52</sup> y modificado por Vélez<sup>53</sup>.

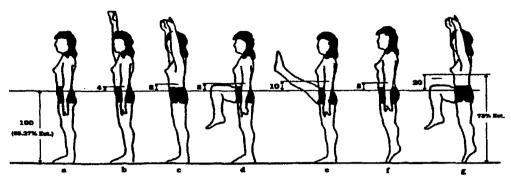


Fig. 9. Diferentes distancias del centro de masas.

La diferencia entre este punto y la posición que tenía el C.M. al inicio de la batida ( $H_0$ ), determinan el recorrido vertical, el cual, unido al tiempo que se tarda en realizar el recorrido, condiciona la velocidad vertical de esta parte del cuerpo al final de la impulsión [ $Vv = 2 (H_1 - H_0) / T$ ]. De la ecuación se deduce que cuanto más grande sea la diferencia de altura y menor el tiempo de contacto utilizado para realizar este recorrido, mayor será la altura de salto.

## Tipos de batida

El nivel de descenso del C.M. estará condicionado por el tipo de batida que realice el deportista. El saltador, en función de su forma de aplicar la fuerza o bien a partir de la manera en que interpreta la técnica estándar sobre la base de sus propias capacidades, realizará un tipo de batida diferente. En ella siempre existen dos partes claramente diferenciadas: (a) la amortiguación o de flexión de la pierna de batida; (b) la de despegue o impulso, en la cual se producen las extensiones de las articulaciones que intervienen, tobillo, rodilla y cadera.

Normalmente los entrenadores distinguen dos tipos de batida que se conocen como batidas de fuerza y batidas de velocidad, aunque en la actualidad, este tipo de

<sup>&</sup>lt;sup>52</sup> Wirhed, R., Habilidad atlética y anatomía del movimiento, Edika-Med, Barcelona, 1989, p.75.

<sup>&</sup>lt;sup>53</sup> Vélez, M., "Control de la planificación y desarrollo del rendimiento en el *fosbury-flop*", *Apunts Educación Física*, núm. 28, 1992, p. 11.

organización apenas se utiliza. No obstante, podemos considerar una batida de fuerza como aquella en la que el descenso del C.M. es más acentuado y la duración de la batida es más larga, la cual es, preferentemente, empleada por saltadores poco reactivos y/o con menor porcentaje de fibras rápidas (FT o tipo-II). Por el contrario, una batida de velocidad es aquella en la que el descenso del C.M. no es tan acentuado y la duración de la misma es más breve, propia de saltadores muy reactivos y/o con un elevado porcentaje de fibras rápidas. El mismo autor apunta que los saltadores de fuerza presentan mayores pérdidas de velocidad al inicio de la batida. Reid<sup>54</sup> destaca, entre otras características de estas batidas, la poca actividad de los segmentos libres, que trabajan con angulaciones más cerradas y con recorridos cortos y rápidos.

Existen otras clasificaciones de la batida en el salto de altura como la que proponen Primakov y colaboradores, los cuales hablan de batidas reactivo-pendulares, batidas de amortiguación acentuada, batidas con pierna libre extendida y batidas de presión, en función de la forma en que se desarrolla la fuerza de empuje y el tiempo que se aplican durante la acción de la batida. Las diferencias responden a criterios de duración del apoyo de la pierna de impulso durante la batida, y a la forma en que se amortigua y se extiende la pierna de impulso por la contribución de su propia fuerza y por las acciones (trayectorias y colocación) que realizan los segmentos libres. Organizan la batida en cuatro fases que denominan: velocidad negativa (o choque); deformación elástica; péndulo invertido (enderezamiento ó acoplamiento); contribución de segmentos libres; concéntrica (extensión) de pierna de impulso. Cada una de ellas hace referencia al aspecto más determinante en el desencadenamiento de fuerzas en ese momento de la acción.

El aporte de la fase de péndulo invertido se calcula, en el método que utiliza la ley de conservación del movimiento, a partir del incremento de la cantidad de movimiento, de la pierna de impulso y del tronco, durante el período de tiempo en el que los ángulos de las articulaciones de rodilla y cadera se mantienen estables; la fase de extensión de pierna de batida se determinó a partir del incremento de la cantidad de movimiento de dicha pierna durante el tiempo que dura la extensión de la articulación

<sup>&</sup>lt;sup>54</sup> Reid, P., "Speed floppers-Power floppers", *Track Technique*, Los Altos, California, vol. 89, 1984, pp. 2840-2842.

de la rodilla; la cantidad de impulso correspondiente a la deformación elástica se calculó restando al total de cantidad de movimiento (de la componente vertical del impulso) la cantidad de movimiento que se forma a cuenta de los tres mecanismos antes mencionados. Otra forma de estudiar cada una de estas partes deriva de la división de la curva fuerza – tiempo (dinamograma) en fases teóricas que se basa en datos de estereofotogrametría (tomado de Primakov *et alii*) <sup>55</sup>.

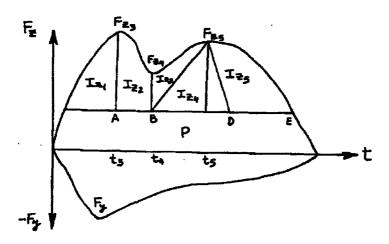


Fig. 10. Dinamograma de una batida en salto de altura y sus diferentes fases.

En el anterior dinamograma, Iz<sub>1</sub> representa la parte del impulso que corresponde al impacto del pie de batida en el suelo; Iz<sub>2</sub> corresponde al mecanismo de deformación elástica; Iz<sub>3</sub> corresponde al mecanismo de péndulo invertido; Iz<sub>4</sub> valora los mecanismos pendulares y Iz<sub>5</sub> valora el mecanismo de extensión de la pierna de impulso.

Las batidas reactivo — pendulares son acciones de corta duración, propias de deportistas de elevado nivel de preparación técnica, en las que las curvas de fuerza de reacción horizontal y vertical tienen la forma de bóveda al equilibrarse bastante las fuerzas desarrolladas en las dos fases de la batida (amortiguación e impulso). En los gráficos siguientes, aparecen los picos de fuerza en los tres ejes del espacio durante el gesto de la batida:

<sup>55</sup> Primakov, IN., I.V. Lazarev y V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art. cit., p.21.

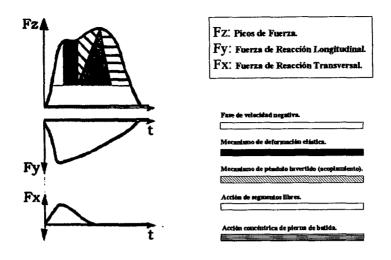


Fig. 11. Dinamograma en batidas reactivo-pendulares.

La batida de *amortiguación* – *acentuada* es característica de los deportistas que llevan poco tiempo de entrenamiento, por lo que es un tipo de dinamograma previo al anteriormente descrito (reactivo pendular). Se produce por una falta de control de los momentos angulares resultantes de la carrera en curva:

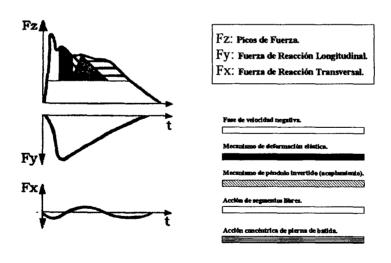


Fig. 12. Dinamograma en batidas de amortiguación-acentuada.

La batida con la pierna libre en extensión es propia de aquellos saltadores que realizan péndulos muy largos de la pierna libre incrementando la duración de la batida. El autor indica que estos atletas realizan los últimos apoyos de la carrera de aproximación sobre los talones:

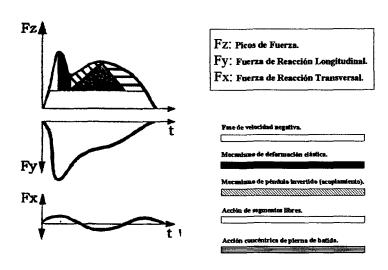


Fig. 13. Dinamograma en batidas de pierna libre en extensión.

La batida de presión es clásica entre deportistas que tienen déficit importantes de preparación de la fuerza – velocidad. También demuestran una baja velocidad en la carrera de aproximación y una acción poco dinámica en la acción de empuje del penúltimo apoyo. Estas son las gráficas de este tipo de batidas:

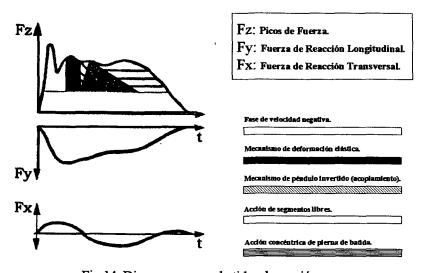


Fig. 14. Dinamograma en batidas de presión.

## Tiempo de duración de la batida

Las batidas son acciones muy explosivas en las que se trata de buscar el máximo impulso en un período de tiempo muy corto. Determinan el tiempo de aplicación de las fuerzas de empuje y, en consecuencia, influyen muy directamente sobre la velocidad vertical resultante. Por término medio, la duración de las batidas de fuerza oscila entre los 170-240 milisegundos, mientras que las batidas de velocidad alcanzan los 120-180 milisegundos (Peyloz<sup>56</sup>; Zanon<sup>57</sup>; Tancic<sup>58</sup>, Dapena<sup>59</sup>).

La tendencia de las últimas décadas se ha basado en disminuir la duración de esta fase, aunque algunos autores subrayan que se debe ser muy prudente a la hora de interpretar este parámetro, ya que no siempre tiempos de batida muy cortos están relacionados con batidas eficaces, pues en algunas ocasiones, esta brevedad corresponde a un fallo técnico (López<sup>60</sup>) que limita el aprovechamiento de la fuerza de deformación de carácter elástico reflejo. Lazarev *et alii*<sup>61</sup> indican que existen dos opiniones contrarias respecto a la relación existente entre la duración del despegue y la calificación del deportista:

- Al aumentar el resultado, la duración de la batida disminuye.
- Al aumentar el resultado, el tiempo de interacción con el apoyo se incrementa.

En un análisis de los participantes de los Juegos Olímpicos de Seúl (1988), Ritzdorf<sup>62</sup> et alii destacan que el corto tiempo de batida que se midió a la saltadora Stefka Kostadinova (115 milisegundos) en uno de sus saltos, se debió a la escasa flexión que realizó en la articulación de la rodilla, lo que se tradujo en un mínimo recorrido del C.M. (21 centímetros) y, trajo como consecuencia, una buena velocidad vertical en el

<sup>&</sup>lt;sup>56</sup> Peyloz, H.", Les sauts, Ediciones Amphora, Paris, 1976.

<sup>&</sup>lt;sup>57</sup> Zanon, S., "La logica del fosbury-flop", Atlética Leggera, núm. 206: 1977, pp. 41-50.

<sup>&</sup>lt;sup>58</sup> Citado por A.M. Pira y H.Levarlet, "El fosbury-flop", Altura y pértiga, R.F.EA. y E.N.E. Madrid, 1981, pp. 15.

Dapena, J., "Mechanics of translation in the Fosbury-flop", art cit., pp. 37-44.

<sup>60</sup> López, F., "Salto de altura", En, AA.VV., Saltos, R.F.E.A. y C.O.E., Madrid, 1992, p. 38.

<sup>&</sup>lt;sup>61</sup> Lazarev, IV., Mijailov, NG., Yakunin, NA., de la Paz, "Aspectos biomecánicos del salto de altura con carrera de impulso" art. cit., p.40.

<sup>&</sup>lt;sup>62</sup> Ritzdorf, W., A. Conrad y M. Loch, "Intra-individual comparison of the jumps of Stefka Kostadinova at the II World Championship in athletics Rome 1987 and the Games of the XXI Olympiad Seoul-1988", New Studies in Atlhetic, vol. 4, núm. 4, 1989, pp. 35-41.

despegue (4.41 m.s<sup>-1</sup>) y, sin embargo, consiguió una escasa altura de vuelo de su C.M. (88 centímetros). Otro ejemplo lo vemos en el análisis que los autores hicieron de esta misma atleta durante el Campeonato del Mundo de Roma-87.

Entre deportistas entrenados y especializados en disciplinas de salto, los tiempos de batida suelen ser bastantes estables, oscilando entre 2-3 centésimas de segundo, o incluso menos, la duración de cada una de ellos. Su regularidad determina parte de la efectividad del impulso, aunque no existe una relación muy directa entre ambas variables. En el cuadro siguiente podemos observar los valores de la actual poseedora del récord mundial de la especialidad, la búlgara S. Kostadinova en su actuación durante el Campeonato del Mundo de Roma -1987 y los Juegos Olímpicos de Seúl -1988.

Tiempo de Batida (TB); Desplazamiento vertical C.M.: (H2); Velocidad Vertical C.M. (Vv);				
	Altura del listón (HL)			
HL (m)	TB (mseg)	H2 (cm)	Vv (m.s <sup>-1</sup> )	
2.09 (válido)	140 mseg	96 cm	4.34 m.s <sup>-1</sup>	
2.09 (nulo)	140 mseg	91 cm	4.23 m.s <sup>-1</sup>	
2.06 (válido)	140 mseg	95 cm	4.31 m.s <sup>-1</sup>	
2.06 (nulo)	133 mseg	97 cm	4.37 m.s <sup>-1</sup>	
2.04 (válido)	133 mseg	100 cm	4.42 m.s <sup>-1</sup>	
2.02 (válido)	127 mseg	92 cm	4.26 m.s <sup>-1</sup>	
1.99 (válido)	127 mseg	93 cm	4.27 m.s <sup>-1</sup>	

Tabla – 2. Datos biomecánicos sobre la batida de la poseedora del récord del mundo.

Algunos de los aspectos ya comentados anteriormente son los que determinan los tiempos de batida durante un salto. Así, la flexión de la rodilla de la pierna de batida, el recorrido del C.M. o la reactividad de una batida son algunos de los parámetros que, justifican la duración de la batida. Vélez<sup>63</sup> expone que la duración de la batida está

<sup>&</sup>lt;sup>63</sup> Vélez, M., "Control de la planificación y desarrollo del rendimiento en el *fosbury-flop*", *art. cit.*, p.9. Véase asimismo, "Salto de altura" en, AA.VV, *Informe técnico de la V Copa del Mundo*, ENE, Madrid, 1989, p. 113.

condicionada por los elementos de balanceo, señalando que aquellos saltadores que hacen una acción doble de brazos y un gran péndulo con la pierna libre son aquellos que tienen tiempo de batidas más largos, mientras que aquellos otros que realizan una acción simple de brazos y un péndulo corto de la pierna libre son los que suelen tener tiempos de batida más cortos.

## La trayectoria del C.M. y el tiempo de batida

Cuando pensamos en las circunstancias que determinan la duración de una batida, enseguida nos damos cuenta que básicamente derivan del tiempo que necesita el saltador en aplicar las fuerzas necesarias para realizar un salto eficaz. Sin embargo, las posibilidades de aplicar correctamente estas fuerzas vienen determinadas por la velocidad que trae el saltador al inicio de esta fase y de las trayectorias que realice en los planos frontal y sagital, el C.M. durante toda su duración. Básicamente, estos son dos de los principales objetivos para optimizar al máximo la batida.

Técnicamente se busca mejorar la relación entre ambos parámetros, aunque para perfeccionar la ejecución de la misma, todos los saltadores tratan de, con una elevada velocidad de entrada, aumentar el tiempo de aplicación de la fuerza a costa de una mayor trayectoria del centro de masas durante el apoyo final. Matemáticamente, la velocidad vertical  $(V_v)$  del C.M. de un saltador al final de una batida, se puede calcular a partir de dos parámetros: la trayectoria vertical del C.M. (H) y el tiempo de batida (Tc)  $[V_v = 2H/Tc$ ; siendo  $H = H_1 - H_0$ ].

## La fuerza desarrollada y el tiempo de batida

Debido al corto tiempo de que dispone el saltador para aplicar la máxima fuerza posible contra el suelo, la batida debe ser de carácter explosivo reactivo (elástico y reflejo). Está ampliamente demostrado que cualquier acción muscular es más eficaz (desarrolla mayores niveles de tensión) si previamente va acompañada de una fase de estiramiento. Esta acción previa permite un incremento de la fuerza vía deformación de componentes elásticos y a

través activación refleja de unidades motoras (Cavagna<sup>64</sup> et alii; Asmussen<sup>65</sup>; Edman<sup>66</sup> et alii; Bosco<sup>67</sup> et alii; Komi<sup>68</sup>; Viitasalo<sup>69</sup> et alii). Este comportamiento se da durante las fases de amortiguación e impulso de la batida en los saltos atléticos y, por lo tanto, también en el salto de altura. Esta acción motriz tendrá una transferencia directa hacia la velocidad de un movimiento siempre que se cumplan una serie de aspectos básicos como son: una rápida acción excéntrica (Bobbert et alii 1987<sup>70</sup>; King<sup>71</sup>) una corta fase de acoplamiento (Cavagna<sup>72</sup> et alii; Edman et alii; Bobbert<sup>49</sup> et alii; Shorten<sup>73</sup>; Wilson<sup>74</sup>; King, entre otros) y una intensa acción concéntrica en la acción muscular (King).

Sin embargo, la magnitud de cada una de estas variables cambia, sin perder eficacia, de un deportista a otro. Las variaciones que se observan pueden estar motivadas por la constitución muscular de las estructuras involucradas en la acción y, por lo tanto, por el comportamiento mecánico que esto conlleva. El músculo, según las características de las fibras y estructuras que lo componen, presenta un comportamiento mecánico diferente al de otros materiales (GaManso Así, la viscoelasticidad muscular determina que el comportamiento elástico quede comprometido no sólo por la fuerza de

<sup>&</sup>lt;sup>64</sup> Cavagna, C.A., B. Dusman y R. Margaria, "Positive work done by the previusly stretched muscles", *Journal Appl. Physiology*, vol. 24, núm. 1, 1968, pp. 21-32. Véase asimismo de Cavagna, C.A. y M. Kaneko, "Mechanical work and efficiency in level walking and running", *Journal of Physiol.*, London, núm.vol. 268, núm.2, 1977, pp. 467-481.

<sup>&</sup>lt;sup>65</sup> Asmussen, E., "Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise", *Acta Physiology*, núm. 92, 1974, pp. 537-545.

<sup>&</sup>lt;sup>66</sup> Edman, K.A.P., G. Elzinga y M.I. Noble, "Enhancement of mechanical performance by strech during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscles fibres", *Journal of Physiology*, London, mm. 281, 1978, pp. 139-155.

<sup>&</sup>lt;sup>67</sup> Bosco, C., J.Tihanyi, P.V. Komi, G. Fekete y P. Apor, "Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles", *Acta Physiologyca Scandinavica*, vol. 116, núm. 4, 1982, pp. 343-349.

Komi. P.V., Elastic potentiation of muscle and its influence on sport performance, En Bauman, W. (Ed.), Biomechanics and Performances in Sport, pp. 59-70. Schorndorf, Verlag Karl Hoffman, 1983.

<sup>&</sup>lt;sup>69</sup> Viitasalo, J.T., A. Salo y J. Lahtinen, "Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump", *European J. Appied Physiology*, vol. 78, núm. 5, 1998, pp. 432-440.

Bobbert, M.F., PA. Huijing y G.J. Van Ingen, "Drop jumping-I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping", *Medicine Science Sports Exercise*, vol. 19, núm 4, 1987, pp. 332-338. Véase asimismo, Bobbert, M.F., PA. Huijing y G.J. Van Ingen, "Drop jumping-II. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping", *Medicine Science Sports Exercise*, vol. 19, núm. 4, 1987, pp. 339-346.

<sup>&</sup>lt;sup>71</sup> King, I., "Plyometric training: In perspective", *Sports*, Ont., vol. 13, núm.5, 1993, pp.1-12.

<sup>&</sup>lt;sup>72</sup> Cavagna, G.A., *Muscolo e Locomozione*, Ed. R. Cortina, Milán, 1988.

<sup>&</sup>lt;sup>73</sup> Shorten, M.R., "Muscle elasticity and human performance", En, B. Gheluwe y J. Atha, *Current research in sports biomechanics*, Basel, Kargel, 1987, pp. 1-18.

Wilson, G.L. B.C. Elliot, G.A. Wood, "The use of elastic energy in sport", *Sport Coach*, Camberra, Australia, vol. 13, núm. 3, 1990, pp. 8-10.

<sup>&</sup>lt;sup>75</sup> G<sup>a</sup>Manso, J.M., La fuerza, Gymnos, Madrid, 1999, pp. 73-75.

deformación, sino también por el tiempo que tarda ésta en producirse. Se dice que un material es viscoelástico cuando la deformación es dependiente de la carga aplicada y del tiempo en que se tarda en aplicar. Una de las diferencias más importantes que se desprenden al comparar una conducta elástica y una viscoelástica de un material se basa en la forma de utilizar la energía almacenada durante la deformación. En un material elástico toda la energía es almacenada y empleada en volver a su forma original cuando cesa la deformación, mientras que en un cuerpo viscoelástico parte de la energía almacenada se disipa en forma de calor.

Otro de los comportamientos mecánicos que debe ser tenido en cuenta es el nivel de histéresis que poseen las estructuras musculares que intervienen en la batida. La histéresis se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que la produce, por lo que con el fin de poder aprovechar la mayor cantidad de energía elástica disponible, menor debe ser la misma, ya que de lo contrario, existiría un desajuste entre las acciones de los diferentes componentes musculares. Este particular nos hace reflexionar sobre la intervención que la composición muscular tendrá sobre el reaprovechamiento de la energía elástica, ya que debemos recordar que el tiempo que se mantienen los puentes cruzados durante una contracción muscular, varía entre un tipo u otro de fibra. Representa la proporción de energía tensional que es disipada por la amortiguación viscoelástica interna en cada ciclo de extensión, pudiéndose calcular a partir del cociente entre el área que comprende la curva de tensión (energía disipada) y área que aparece por debajo de la curva de carga (energía generada). El estudio de materiales demuestra que no se ha conseguido ningún material capaz de aprovechar el 100% de energía generada, variando el porcentaje de energía reutilizada (resiliencia) en función de su composición (Tous)<sup>76</sup>. La complejidad de la estructura muscular y su carácter viscoelástico, así como la diversidad en los componentes estructurales, confieren a la musculatura una histéresis mecánica determinada. En cualquier caso, la actividad física permite alterar el comportamiento mecánico del músculo, tal y como se puede observar tras el aumento de la temperatura muscular.

<sup>&</sup>lt;sup>76</sup> Tous, J., Nuevas tendencias en fuerza y musculación, Ergo, Barcelona, 1999, p. 22.

En los primeros trabajos de Bosco<sup>77</sup> et alii sobre este comportamiento muscular, los autores constataron que la contribución de la reutilización de la energía elástica al trabajo positivo de una contracción muscular variaba en función de la amplitud de la fase excéntrica [pequeña (55.3° y 51.3°) o grande (87.3° y 89.2°)], de la musculatura extensora del miembro inferior, a la hora de efectuar diferentes modalidades de salto (SJ o CMJ). El estudio reveló que el mayor aprovechamiento elástico se produce, entre los sujetos de mayor porcentaje de fibras FT ó tipo-II, cuando el desplazamiento es corto, pero si el desplazamiento es mayor (mayor duración y amplitud de la acción) se observa que el aprovechamiento es más intenso entre aquellos que tienen un mayor porcentaje de fibras ST ó tipo-I.

En un trabajo posterior, Bosco y Rusko<sup>78</sup> también concluyen que el reclutamiento diferente de las fibras de contracción lenta (ST) y rápida (FT) influyen en el aprovechamiento de la energía elástica desarrollada durante la carrera. Para ello, solicitaron a 10 sujetos varones que corriesen a velocidades diferentes (2.2 - 5.2 m.s<sup>-1</sup>) con calzados de diferente dureza. Los resultados indicaron que cuando se corre con calzado blando se requiere un mayor consumo de energía que cuando se utiliza un calzado normal, excepto cuando la velocidad es muy baja (2.2 m.s<sup>-1</sup>). Cuando la velocidad de carrera aumentó, la energía extra consumida usando calzado blando aumentó de forma paralela (0.4 Julios x kilo<sup>-1</sup>/paso a 5.2 m.s<sup>-1</sup>), lo que indica que el efecto del tiempo de acoplamiento como factor limitante del retroceso de la energía elástica fue relevante en las fibras de contracción rápida (FT), las cuales eran reclutadas de forma progresiva y paralela al incremento de la velocidad de carrera del sujeto. A velocidad lenta (2.2 m.s<sup>-1</sup>) sólo se reclutaron fibras de contracción lenta (ST) y el aumento del tiempo de acoplamiento no fue lo suficientemente largo para provocar la rotura de los puentes de actina y miosina de las fibras (ST), los cuales tienen un tiempo de vida más largo.

<sup>&</sup>lt;sup>77</sup> Bosco, C., J. P.V. Tihanyi, P.V. Komi, G. Fekete y P. Apor, "Store and recoil of elastic energy in slow and fast types", *Acta Physiol. Scandinavica*, núm. 116, núm. 4, 1982, pp. 343-349.

<sup>&</sup>lt;sup>78</sup> Bosco, C. y H. Rusko, "The effect of prolonged skeletal muscle stretch-shortening cycle on recoil of elastic energy and on energy expenditure", *Acta Physiol. Scandinavica*, núm. 119, núm. 3, 1983, pp. 219-224.

Por su parte, Young et alii<sup>79</sup> estudiaron el drop-jump desde tres alturas diferentes (30, 45 y 60 centímetros), en 17 estudiantes de educación física, tratando de buscar la altura máxima de despegue sin preocuparse en exceso de la duración del contacto (DJ-H), el tiempo de menor contacto (DJ-t) y la altura de despegue con el tiempo de contacto más corto posible (DJ-H/t). Del análisis de los resultados, los autores dedujeron que el salto en el que no se trata de realizar un tiempo de contacto muy corto es el que permite obtener mayor altura de despegue, mientras que cuando se trata de disminuir el tiempo de impulsión la altura que logran los sujetos de la muestra es considerablemente inferior en las tres alturas de caída analizadas. La mejor relación entre el tiempo de contacto y la altura alcanzada se consigue en el test en el que el deportista presta su atención a la optimización de ambas variables. El estudio demuestra que el CMJ y el drop en los que se busca la mayor altura de despegue son dos ejercicios similares cuando en el segundo se intenta realizar desde la altura máxima estudiada (60 centímetros), pero cuando el drop trata de optimizar las dos variables es mejor utilizar la tercera variante propuesta en el trabajo.

La dificultad aparece en aquellas disciplinas en las que el éxito depende básicamente del ciclo de estiramiento y de la velocidad de ejecución. La carrera de velocidad, el salto de longitud, así como el salto de altura, son modalidades atléticas que dependen de su alta velocidad de ejecución, y sus practicantes se ajustan al perfil de sujetos con elevado porcentaje de fibras FT, por lo que en estos casos la fase de acoplamiento debe ser muy corta y el rango de movimiento, correspondiente a la amortiguación-extensión, pequeño.

# Comportamiento la pierna de impulso durante la batida

En el momento en que se inicia la fase de batida, el saltador debe combinar adecuadamente la velocidad de la carrera con la fuerza que es capaz de soportar durante dicha fase, ya que ello determinará el grado de flexión máxima que se debe realizar en la pierna de impulso al final de la subfase de amortiguación. En este proceso la pierna de salto debe resistir la energía cinética que arrastra el atleta así como la presión que

<sup>&</sup>lt;sup>79</sup> Young, W. B., J.F. Pryor y G.J. Wilson, "Effect of instruction on characteristics of countermovement and drop jump performance", *Journal of Strength ConditioningReserach*, Champaign, Ill., vol. 9, núm. 4, 1995, pp. 232-236.

ejercen los segmentos libres en su movimiento, sobre un punto alejado de la proyección vertical del C.M., instante en el que la velocidad vertical se hace negativa tal y como ya explicamos anteriormente.

Para ello, la musculatura flexora plantar de la articulación del tobillo (principalmente, gemelos, sóleo y peroneos) y la extensora de la articulación de la rodilla (cuádriceps) trabajan de forma excéntrica, mientras que los extensores de la cadera lo hacen de forma concéntrica (glúteos e isquiotibiales). Esta fase tiene una duración entre el 40-45% del tiempo total que dura la batida (Viitasalo y Aura-1987)<sup>80</sup>, en el que la pierna soporta fuerza superiores a los 2000 Newtons, con un impacto muy intenso que se produce entre los primeros 20-50 milisegundos. Durante la amortiguación la pierna actúa como un muelle que se contrae y acumula energía de deformación, que en el caso de las estructuras musculares son de origen elástico reflejo. Veamos en la siguiente figura la interpretación de la fase de despegue del salto de altura mediante un modelo simplificado del cuerpo<sup>81</sup>.

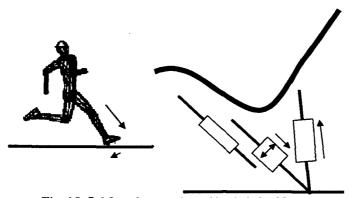


Fig. 15. Subfase de amortiguación de la batida.

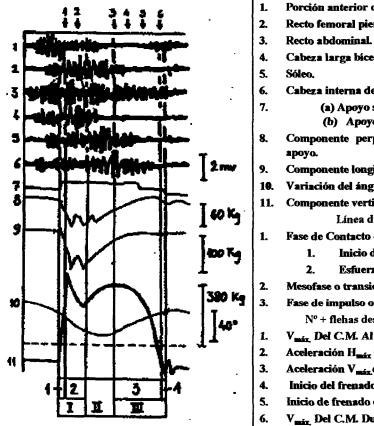
Al final de la fase de amortiguación la articulación de la rodilla habrá alcanzado el mayor grado de flexión de la misma, que en la muestra objeto de estudio es de 139° +/-8.1°. Este momento es usado frecuentemente como un indicador esencial para determinar la acción muscular durante la batida (Hay et alii<sup>82</sup>; Lees et alii<sup>83</sup>). En la

<sup>&</sup>lt;sup>80</sup> Viitasalo, J.T. y O. Aura, Myoelectrical activity of the leg extensor musculature before ground contact in jumping. En, Jonsson, B. (ed.), Biomechanics X-B, Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers, 1987, p. 695-700.

<sup>&</sup>lt;sup>81</sup> Dapena, J. y C. S. Chung, "Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jump", art. cit., p. 291.

<sup>&</sup>lt;sup>82</sup> Hay, JG., E.M. Thorson, y B.C. Kippenhan, "Changes in muscle-tendon length during the take-off of a running long-jump", *Journal Sport Sciences*, Royaume, vol. 17, núm. 2, 1999, pp.159-172.

siguiente figura, podemos estudiar la electromiografia y dinamograma de la batida en atletas de alto nivel según Dimitriev<sup>84</sup>.



- Porción anterior del deltoides BD.
- Recto femoral pierna libre.
- Cabeza larga biceps femoral pierna batida.
- Cabeza interna de los gemelos.
  - (a) Apoyo sobre toda la planta del pie.
    - (b) Apoyo sobre parte anterior del pie.
  - Componente perpendicular de la fuerza de
- Componente longitudinal de la fuerza de reacción al apoyo.
- Variación del ángulo de la rodilla.
- Componente vertical de la fuerza de reacción del apoyo. Línea discontinua = Peso del atleta
- Fase de Contacto o predespegue.
  - Inicio de contacto.
  - Esfuerz de amortiguación.
- Mesofase o transición.
- Fase de impulso o despegue

Nº + flehas descendentes = Instante del impulso.

- V<sub>máx</sub> Del C.M. Al inicio del apoyo.
- Aceleración H<sub>máx</sub> C.M. Pierna libre y brazos.
- Aceleración V<sub>máx</sub> del C.M. Pierna libre.
- Inicio del frenado del brazo.
- Inicio de frenado de la pierna libre.
- V<sub>mir.</sub> Del C.M. Durante el despegue

Fig. 16. Registro EMG y dinamograma de la acción de batida.

pp. 61-78.

84 Dimitriev, V. "El fosbury flop. Estructura básica de la batida", Legkaya Atletika, núm 9, 1983, pp.13-14.

<sup>83</sup> Lees, A., P. Graham-Smith y N. Fowler, "A biomechanical analysis of the last stride, touchdown and take-off characteristics of the men's long jump", Journal Applied of Biomechanics, vol. 10, núm. 1, 1994,

## Fase de amortiguación

Dyatchkov<sup>85</sup> plantea que la flexión de la pierna de impulso, durante la primera parte de la batida, sirve para amortiguar el impacto y para aumentar la tensión en la musculatura extensora de las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera, y, de esta manera, potenciar la eficiencia muscular en la fase concéntrica de esta fase del salto. Véase en la figura 17 las distintas posiciones del pie durante la fase de batida (Muraki *et ali*)i<sup>86</sup>.

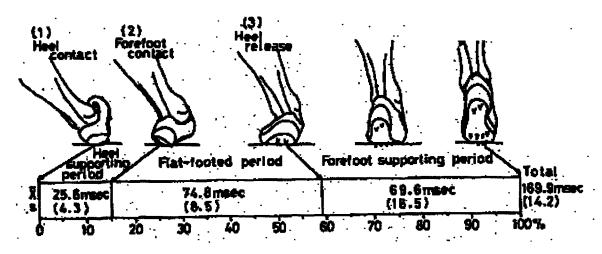


Fig. 17 Secuencia del comportamiento del pie de batida en un salto estilo fosbury-flop.

Durante la batida, especialmente durante la fase de amortiguación, el pie sufre importantes deformaciones, entre las que destaca la tendencia a forzar la articulación tibio-tarsiana, donde el astrágalo se encuentra ajustado con firmeza en el interior de la mortaja tibio-peronea a la vez que sometido a una intensa pronación, que se ve favorecida por la fijación de los clavos de la zapatilla en el suelo. Este movimiento forzado es muy traumático para el pie, siendo la causa de gran número de lesiones en saltadores que no tienen una articulación suficientemente fuerte. Muraki y colaboradores estudiaron la batida de tres saltadores de altura con marcas de 2.15, 2.10 y 2.05 metros. Observaron que la deformación del pie se manifestaba durante el tiempo que se mantenía la planta del pie en el suelo. El ángulo que formaban el eje de la pierna y el eje entre el astrágalo y el calcáneo oscilaba entre 220° -240° (el ángulo en posición

<sup>85</sup> Dyatchkov, V.M. "The high jump", Track Technique, núm. 34, 1968, pp. 1059-1074.

Muraki, Y, T. Sakamoto, S. Saito, M, Ae y K. Shibukawa, "3-dimensional cinematographical analysis of foot deformations during the take-off phase of the fosbury- flop", En, Matsui, H., and Kobayashi, K. (eds.), Biomechanics VIII-A & B, proceedings of the Eighth International Congress of Biomechanics, Nagoya, Japan, Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers, 1983, p. 762-770.

vertical es de 180°), lo que indica una pronación excesiva motivada por una acción forzada de la articulación tibio-astragalina y de la subastragalina.

En la batida, el pie, a la vez que hace de bisagra entre el suelo y la pierna, soporta enormes presiones que son contrarrestadas con una contracción excéntrica de la musculatura extensora de la pierna y la cadera. Esta acción afecta a las angulaciones de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera. Sin embargo, pese a este acción de amortiguación, en la que la distancia entre el C.M. y el pie disminuye (distancia radial), este punto del cuerpo presenta un desplazamiento vertical positivo (elevación), lo que responde a una importante componente horizontal y a una escasa componente vertical del mismo y a la acción de traslación que sufre todo el sistema (cuerpo) teniendo como punto de giro el pie de apoyo. Este mecanismo se ve favorecido en aquellos saltadores que desciende el C.M. en el último paso y dejan retrasado, además de inclinado, su cuerpo antes de contactar en el último apoyo. Sin embargo, Primakov *et alii* <sup>87</sup>, a partir de los resultados de investigaciones propias, sí reconocen un ligero descenso inicial del C.M. Este descenso lo cuantifican en valores que oscilan entre los 3-4 centímetros.

Con estas acciones el atleta logra dos objetivos básicos para una batida eficiente:

1) la acumulación de fuerza elástico-refleja que posteriormente se pueda usar en la fase de impulso y 2) desplazar el C.M. a un punto elevado para facilitar su posterior proyección hacia el listón.

El primero de estos objetivos, acumulación de fuerza elástico-refleja, se debe a la deformación que sufre la estructura muscular durante la amortiguación y del tipo de estructura a la que afecta. En definitiva, estamos hablando de una cadena cinética extraordinariamente compleja que afecta a tres articulaciones: tobillo-rodilla-cadera que actúan de forma sincronizada para conseguir la máxima eficiencia en el movimiento. No olvidemos, que algunas de estas estructuras musculares afectan simultáneamente a dos de estas articulaciones: los gemelos a la extensión del tobillo y la flexión de la rodilla, los isquitibiales a flexión-extensión de la rodilla y la extensión de la cadera y el recto anterior del cuádriceps a la extensión de la rodilla y la flexión de la cadera. Véase en la fig.15, la representación del modelo multiarticular para la batida.

<sup>&</sup>lt;sup>87</sup> Primakov, IN., I.V. Lazarev y V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art. cit., p.15.

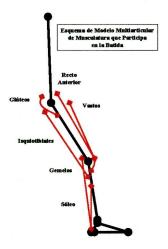


Fig. 18. Modelo multiarticular para la batida.

La acción de los segmentos libres ejerce un importante papel en esta fase del salto. Al inicio de la batida suelen moverse acercándose al pie de apoyo, permitiendo de esta manera, amortiguar el impacto de la pierna de batida con el suelo. Dapena y Chung<sup>88</sup> plantean que una vez se realiza este mecanismo, los segmentos libres se alejan del pie de apoyo y sus movimientos radiales positivos, junto con los del tronco, ayudan a poner los músculos en condiciones excéntricas más rápidas o en condiciones concéntricas más lentas. Esto permite desarrollar fuerzas mayores sobre el punto de apoyo.

En el mismo estudio realizado por estos autores se observó que la distancia radial (pie-CM) primero decrece ( $0.190 \pm 0.035$  metros), para aumentar posteriormente ( $0.320 \pm 0.040$ ). Esta disminución inicial que se produce durante la amortiguación se correspondía con un pequeño valor negativo de la velocidad vertical del C.M. Vieron también que en algunos saltos se producía una ligera caída en la altura del C.M. (0.005 metros) en los primeros instantes ( $0.010 \pm 0.010$  segundos), pero la dirección de la velocidad vertical cambiaba rápidamente a la vez que comenzaba la elevación del C.M. Incluso, la velocidad vertical del C.M. era importante en el momento en el que la distancia radial llegaba a su valor mínimo.

<sup>&</sup>lt;sup>88</sup> Dapena, J. y C. S. Chung. "Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping", opus cit., p. 293.

En ella es donde se genera la mayor parte del recorrido vertical que realiza el C.M. durante la batida (38-48 cm según Primakov *et alii*<sup>89</sup>). Tras la amortiguación, el 55-60% del tiempo restante que dura la batida corresponde a la fase activa de la misma, donde a la acción concéntrica de flexores plantares y extensores de la rodilla, se le une la resultante de la fuerza de impacto y la energía de deformación que se ha podido almacenar en las estructuras musculares durante la fase excéntrica. Durante esta fase la totalidad de las fuerzas de reacción son superiores a las de la fase anterior (>4.000 Newtons).

Al ser la batida un movimiento balístico, la máxima importancia se encuentra en los primeros instantes del empuje, que es cuando la acción muscular trabaja de forma más intensa, limitándose a acompañar el movimiento en los últimos grados de extensión de la pierna de impulso. Una acción balística hace referencia a un movimiento resultante de fuerzas de desarrollo rápido aplicadas a resistencias moderadas. En ellas, después de desarrollada una tensión máxima, la tensión comienza a disminuir aunque la velocidad del movimiento siga aumentando progresivamente. Si realizáramos un registro electromiográfico (E.M.G.) observaríamos en él tres fases: inicio del movimiento por contracción, programada e inmutable, de músculos agonistas (conducción del movimiento), la cual es seguida por una fase de inactividad de estos músculos y activación de los antagonistas (protección de la integridad de componentes que intervienen en el movimiento), y finalización de la secuencia por una activación adicional de los agonistas.

## Contribución de los segmentos libres en la batida

Durante la acción de batida la contribución de cada segmento corporal tiene una participación determinante sobre el impulso (fuerza vertical total ejercida sobre el suelo) y sobre los momentos angulares que se generan durante el salto. Inicialmente, la oscilación de brazos y pierna libre determina un aumento de la presión que sufre la pierna de impulso, tanto más cuanto mayor sea la aceleración (abajo – adelante – arriba)

<sup>89</sup> Primakov, IN., I.V. Lazarev y V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art. cit., p.15.

de los segmentos en movimiento. Éstos también trabajan atenuando la carga sobre los mismos, y más concretamente sobre dicha pierna, durante la fase activa de la batida y manteniendo los momentos de fuerza, especialmente del tronco que se generen durante el salto (Ae *et alii*)<sup>90</sup>.

La acción de estos segmentos debe ser ejecutada en el momento oportuno para garantizar una acción efectiva de la batida. Coordinar sus acciones con las de la pierna de batida asegura la carga de la musculatura de la pierna de impulso y favorecen su descarga durante la fase de empuje. Normalmente, es necesario esperar a que la rodilla de la pierna libre sobrepase la pierna de impulso y que los brazos inicien su elevación, para que la pierna de batida comience el empuje, pues de lo contrario, la acción de los segmentos libres frenará parte del empuje vertical conseguido durante la batida. Durante la realización del péndulo con la pierna libre, el valor máximo de la velocidad vertical se logra antes que en el péndulo con la pierna extendida, aunque el valor máximo de la velocidad en este último caso es dos o tres veces mayor.

Durante la batida, la velocidad de los diferentes segmentos del cuerpo varía a lo largo de su recorrido. Las mayores variaciones de la velocidad se observan en los centros de masas de cada uno de ellos. Así, según Lazarev *et alii*<sup>91</sup>, la velocidad del CM de la pierna de péndulo alcanza su máxima magnitud al inicio de la batida (7.2 m.s<sup>-1</sup> a 13.5 m.s<sup>-1</sup>). En el instante que pasa junto a la pierna de batida disminuye al 60-65% de la velocidad inicial, para llegar al final de la batida a valores entre el 40-45% del valor inicial. Por su parte, la velocidad del C.M. de los brazos al inicio de la batida suele oscilar entre los 6-9 m.s<sup>-1</sup>, de forma que en el momento que finaliza la fase de amortiguación, dicha velocidad aumenta entre un 15-21% y al final de la batida la velocidad del brazo correspondiente a la pierna de péndulo disminuye un 25-28% respecto a la velocidad inicial, mientras que la velocidad del CM del otro brazo disminuye entre un 62-73%.

<sup>91</sup> Lazarev, IV., Mijailov, NG., Yakunin, NA., de la Paz, "Aspectos biomecánicos del salto de altura con carrera de impulso" *art. cit.*, p.42.

<sup>&</sup>lt;sup>90</sup> Ae, M., K. Shibukawa, S. Tada y Y. Hashihara, "A biomechanical analysis of the segmental contribution to the take-off of the one-leg running jump for height", opus cit., p. 739.

También debemos recordar que, para asegurar que los segmentos libres ayuden eficazmente en el impulso, es necesario que su movimiento sea frenado bruscamente al final de su desplazamiento ascensional, convirtiendo su acción en una fuerza de arrastre [F = (Masa x Velocidad) / Tiempo] que se suma al trabajo de la pierna de impulso. De no hacerlo así, la fuerza ascensional que generan estos segmentos se aleja significativamente de su máximo valor potencial. Raffin-Peyloz<sup>92</sup> pone el ejemplo de los bailarines que elevan su pierna por encima de la cabeza, sin despegar del suelo, al no frenar bruscamente su movimiento. Por su parte Bashian<sup>93</sup> plantea realizar el siguiente ejemplo para comprender este mecanismo: póngase de pie con las rodillas bloqueadas y los talones apoyados en el suelo; en esta posición, levante enérgicamente los brazos, doblados por el codo, por encima de la cabeza y, una vez arriba, tire fuertemente hacia abajo. Después de esta operación verá que se despega ligeramente del suelo.

# La implicación de los brazos en la batida

Todos los saltadores de altura tratan de hacer una acción enérgica hacia adelante y hacia arriba durante la ejecución de la batida, lo que contribuye en aumentar la fuerza de compresión que sufre la pierna de impulso durante la fase excéntrica de la misma (Nigg<sup>94</sup>; Hay<sup>95</sup>; Luhtanen y Komí<sup>96</sup>; Viitassalo et alii<sup>97</sup>; Ae et alii<sup>98</sup>; Dapena<sup>99</sup>; Dapena y Chung<sup>100</sup>; Harman et alii <sup>101</sup>; Dapena et alii <sup>102</sup>; Boudolos<sup>103</sup>).

La aportación de cada uno de los brazos (velocidad con la que se mueven) es diferente en cada momento del salto y varía en función de la técnica que utilice el

<sup>92</sup> Raffin-Peyloz , H., "El salto de altura", En, M. Houvion, R. Prost y H. Raffin-Peyloz, Tratado de atletismo: saltos, Hispano-Europea, Barcelona, 1986, p. 185.

<sup>93</sup> Bashian, A., "Arm action in the flop", Track Technique, vol. 69, 1977, p. 2206-2208.

<sup>94</sup> Nigg, B., et alii, Hochsprung, opus cit., p. 82.

<sup>95</sup> Hay, J.G., The biomechanics of sport techniques, opus cit., p. 451.

<sup>&</sup>lt;sup>96</sup> Luhtanen, P. y P.V. Komí, art. cit., p. 181-188.

Viitasalo, J.T., O. Aura y P. Luhtanen, "Biomechanische und antropometrische aspekte des hochsprung", art. cit.

98 Ae, M., K. Shibukawa, S. Tada y Y. Hashihara, opus cit, p. 742.

<sup>&</sup>lt;sup>99</sup> Dapena, J., "Basic and applied research in the biomechanics of high jumping", art. cit., p. 29.

Dapena, J. y C.S. Chung, "Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high

jumping", art. cit., p. 300.

Harman, E.A., MT. Rosenstein, P.N. Frykman y R.M. Rosenstein, "The effects of arms and contermovement on vertical jumping", art. cit., p. 825-833.

Dapena, J., C. McDonald y J.Cappaert, "A regression analysis of high jumping technique", art. cit., p.

Boudolos, K.D., "Jumping performance of young girls in track and field", art. cit.

deportista [acción simultanea de brazos vs. acción asimétrica (simple o de contrabalanceo)], aunque casi siempre suele ser más activo el brazo más alejado del listón (Dapena<sup>104</sup>). En ambos casos, la acción de los brazos debe analizarse garantizando la posibilidad de bloquearlos al final del movimiento y a la acción que se realice la pierna libre, ya que de lo contrario, las conclusiones a las que podemos llegar pueden ser erróneas. La actividad de brazos (AACT en m.s<sup>-1</sup>) durante la fase de la batida y su relación con la velocidad vertical del C.M. al final de la misma (V<sub>z1</sub> en m.s<sup>-1</sup>) se observa en el siguiente gráfico del profesor Dapena<sup>105</sup> et alii.

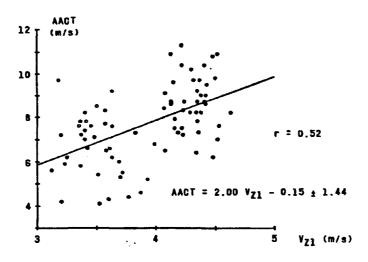


Fig. 19. Actividad de los brazos.

Vélez<sup>106</sup> señala de cuatro variantes técnicas del movimiento de brazos observadas entre los mejores saltadores de altura, aunque recomendando como más efectivas aquellas en las que se hace una acción doble de brazos (tal y como los utilizó Dick Fosbury en los orígenes de la técnica), por permitir elevar más el C.M. y no frenar la rotación sobre el eje longitudinal.

- Técnica doble de brazos en dos pasos;
- Técnica doble de brazos en un paso;
- Técnica a un brazo,
- Técnica de contrabalanceo de brazos.

267

<sup>&</sup>lt;sup>104</sup> Dapena, J., "Basic and applied research in the biomechanics of high jumping",  $art.\ cit.$ , p.31. Dapena, J., "A regression analysis of high jumping technique",  $art.\ cit.$ , p. 254.

En las imágenes siguientes se presentan dos tipos diferentes de brazos. En la parte superior, la técnica a un brazo (la italiana S. Simeoni) y la parte inferior del mismo, la técnica doble (D. Stones) en la preparación de la batida.

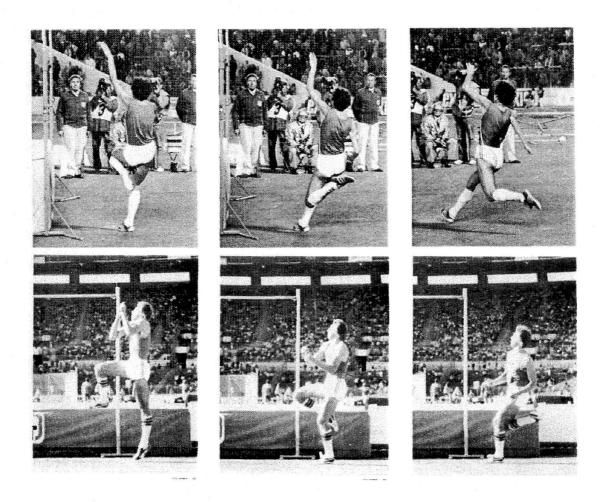


Fig. 20. Técnicas de brazos.

También Dapena<sup>107</sup> y Tidow<sup>108</sup> señalan que la técnica en la que se retrasan los brazos, en el último o dos últimos pasos, es más eficiente. Dapena comenta que aquellos atletas que llegan al inicio de la batida con el brazo más próximo al listón adelantado, son menos efectivos en la batida al limitar la acción ascensional de ese segmento corporal, mientras que Tidow habla que el balanceo doble de brazos es neutral en relación con el giro. Este último autor también señala que la acción doble de brazos es

<sup>106</sup> Vélez, M., documentos citados.

Dapena, J., "Basic and applied research in the biomechanics of high jumping", art. cit., p. 31. Tidow, G., "Model technique analysis sheets Part VIII: The flop high jump", New Studies in Athletic, vol. 8, num. 1, 1993, pp. 33-35.

más eficaz para crear los momentos angulares hacia delante que se producen durante la fase de impulso.

En el siguiente cuadro, tomado de Laffaye<sup>109</sup>, se pueden observar otras aportaciones experimentales sobre la participación de segmentos libres durante la ejecución de un salto.

Autores	Año	Resultado
Luhtanenn y Comí	1978	Contribuye en un 12 % en la velocidad de despegue
Luhtanen y Comí	1979	La utilización de brazos depende del nivel de rendimiento: Es un lanzar – bloquear en el experto y un aceleración continuada en el principiante.
Dapena	1980	La velocidad de los brazos varía entre 4-12 m.s <sup>-1</sup> . El ángulo que forman el brazo con el antebrazo más correcto es el de 90°. Su acción es de aceleración - fijación al impulso.
Ac et alii	1986	La utilización de los dos brazos aumenta la flexión de la rodilla en la batida. La utilización de un solo brazo permite una mejor transferencia de velocidad.
Harman et alii	1990	La utilización simultánea de los brazos y del preaopoyo aumenta significativamente la altura del salto.

Tabla – 3. Contribución de los segmentos libres.

# La implicación de la pierna libre en la batida

La pierna libre, además de favorecer diferentes rotaciones del cuerpo al generar distintos momentos angulares durante el salto, ayuda a disminuir el tiempo de impulso, aumenta la presión sobre la pierna de batida y sitúa en un punto más elevado el C.M. al final de la misma.

Algunos autores le dan una gran importancia a esta acción técnica. Luthanen y Komi<sup>110</sup> llegan a darle una contribución del 56% a la velocidad de despegue cuando se realiza la acción activa y correctamente. Ae *et alii*<sup>111</sup> señalan que en el salto de altura la aportación de la pierna libre en el impulso del centro de gravedad disminuye con la velocidad del salto, de forma que podemos pensar que aquellos saltadores que realizan

<sup>&</sup>lt;sup>109</sup> Laffaye, G., "Le saut en hauteur en Fosbury et les facteurs de performance", Science et Motricité, núm. 42, 2001, p. 6.

Luthanen, P. y P.V. Komi, "Segmental contributions to forces in vertical jump", art. cit, p. 181-188.

111 Ae. M., K. Shibukawa, S. Tada y Y. Hashihara, "A biomechanical analysis of the segmental contribution to the take-off of the one-leg running jump for height", opus cit., p. 744.

una batida de fuerza se verán más beneficiados por la acción de la pierna libre que aquellos que realicen una batida de velocidad.

Aunque existe una tendencia a que todos los saltadores utilicen de forma similar la pierna libre durante el impulso, Conrad y Ritdorf<sup>112</sup> vinculan la acción de la pierna libre al ángulo que forman los dos últimos apoyos de la carrera de aproximación con el listón. De esta forma, señalan que aquellos saltadores con ángulos más grandes realizan una acción menos enérgica con la pierna de impulso. Tal es el caso de los saltadores rusos, T. Bykova o G. Avdeyenko. Por otra parte, aquellos que realizan una carrera muy paralela al listón, con ángulos de aproximación pequeños, presentan acciones amplias y enérgicas con la pierna libre, como es el caso de las búlgaras Kostadinova o Andonova).

La forma de trabajar con la pierna libre ha ido evolucionando durante los últimos años (Tidow<sup>113</sup>). Si bien en sus orígenes, el americano Dick Fosbury batía con la pierna libre muy recogida y flexionada por la rodilla, de forma muy similar a como lo hacen los saltadores de longitud, hoy en día muchos saltadores/as lo hacen con un ángulo igual o superior a los 90°. El mayor o menor grado de flexión de la rodilla va a afectar a la velocidad angular de la pierna de batida, a la elevación del C.M., a los momentos angulares, a la rotación sobre el eje longitudinal y a la duración de la batida.

#### METODOLOGÍA

El objetivo de este estudio sobre la batida es realizar un análisis descriptivo y comparativo entre los valores biomecánicos observados en los mejores saltos realizados por diez varones  $(2.13 \pm 0.08 \text{ metros})$  y siete mujeres  $(1.74 \pm 0.06 \text{ metros})$  y los valores de referencia obtenidos en otros estudios realizados con saltadores/as de nivel internacional.

# Muestra utilizada en el proyecto de batida

En la categoría masculina se compararon con los mejores saltos de un universo de 126 intentos ( $2.22 \pm 0.10$  metros) correspondientes a 72 saltadores diferentes de nivel internacional ( $2.27 \pm 0.06$  metros). De esta muestra, también fueron utilizados los

<sup>112</sup> Conrad, A. y W. Ritzdorf, art. cit., p.197.

valores observados en los diez mejores saltadores  $(2.36 \pm 0.02 \text{ metros})$  con la finalidad de constatar posibles diferencias que pudieran detectarse cuando el nivel se incrementan.

Estos resultados han sido publicados en catorce informes realizados entre los años 1982 y 1999 [Dapena et alii (1982); Dapena et alii (1983); Dapena et alii (1986); Ritzdorf y Conrad (1987), Dapena et alii (1987); Conrad y Ritzdorf (1988); Vélez (1989); Dapena et alii (1992) y Dapena et alii (1993); Dapena et alii (1994); Dapena et alii (1995); Arampatzis (1997); Dapena et alii (1998); Dapena et alii (1999)].

En la tabla siguiente se informa sobre aspectos de rendimiento y sobre las características de las muestras analizadas en cuanto a número de sujetos y de saltos utilizados para facilitar la interpretación de los datos:

CATEGORÍA MASCULINA			
Muestra	Número	Resultado (metros)	Rango (metros)
Nacional (total de atletas y saltos)	10	2.13 ± 0.08	2.26 – 2.04
Universo de referencia (total saltos)	126	2.22 ± 0.10	2.38 – 2.16
Muestra Internacional (total atletas)	76	2.24 ± 0.06	2.38 - 2.17
Muestra Internacional (mejores saltadores)	10	$2.36 \pm 0.02$	2.38 – 2.34

Tabla – 4. Datos cuantitativos de las muestras masculinas.

En la categoría femenina, los resultados obtenidos de las siete saltadoras se compararon con los mejores saltos de 100 intentos (1.92 ± 0.06 metros) pertenecientes a 60 saltadoras (1.92 ± 0.06 metros) de nivel internacional. El subgrupo de mejores saltadoras lo componen los diez mejores saltos disponibles en esta categoría (2.02 ± 0.03 metros). Estos resultados aparecieron en diez informes publicados entre los años 1982 y 1999 [Dapena (1982); Ritzdorf y Conrad (1987); Dapena *et alii* (1987); Conrad

<sup>113</sup> Tidow, G., "Model technique analysis sheets Part VIII: The flop high jump", art. cit., p.35.

y Ritzdorf (1988); Vélez (1989); Dapena et alii (1992); Dapena et alii (1994); Dapena et alii (1995); Dapena et alii (1998); Dapena et alii (1998)].

El cuadro siguiente responde a las características de las muestras analizadas:

CATEGORÍA FEMENINA			
Muestra	Número	Resultado (metros)	Rango (metros)
Nacional (total de atletas y saltos)	7	1.74 ± 0.06	1.83 – 1.67
Universo de referencia (total saltos)	100	1.92 ± 0.06	2.09 - 1.83
Muestra Internacional (total atletas)	60	1.92 ± 0.07	2.09 - 1.83
Muestra Internacional (mejores saltadores)	10	$2.02 \pm 0.03$	2.09 – 1.97

Tabla – 5. Datos cuantitativos de las muestras femeninas.

#### Criterio para seleccionar la muestra de referencia

En los estudios que encontramos atletas con más de un salto analizado, el criterio seguido para crear el grupo de referencia fue el de seleccionar el mejor de los saltos. De existir más de un salto con la misma marca, se elige aquel en que el atleta alcanza la mayor altura del C.M. durante la fase de vuelo. En cualquier caso, por los motivos ya mencionados, respecto a las diferentes metodologías para la toma de datos, nos vimos obligados a desechar, ocasionalmente, algunos de ellos al no cumplir los criterios mínimos necesarios para ser utilizados como muestra de referencia. Como consecuencia, algunas variables de las distintas muestras presentan algunas oscilaciones en su tamaño, que se han de tener presente cuando se efectúan las correspondientes comparaciones.

## MATERIAL Y MÉTODO

El material de filmación, calibración, digitalización y valoración, ya han sido descritos en el apartado general de metodología y diseño utilizado en la tesis, por lo que, para no repetir todo su extenso contenido, debe ser leído en el capítulo 1 del bloque primero de esta tesis.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como es habitual en este tipo de estudio en el que se analiza a los deportistas en situaciones reales de competición, no ha sido posible obtener algunos valores que, para lograrlos, hubiera sido necesario alterar el desarrollo normal de la prueba. Por este motivo, ha sido necesario renunciar a los aspectos cinéticos (dinámicos) del movimiento (fuerzas desarrolladas en la batida) y centrar el estudio de los aspectos cinemáticos del mismo (desplazamientos, tiempos, aceleraciones y velocidades observadas en la batida).

En este apartado, el análisis de los aspectos más relevantes que emergen de la fundamentación teórica se abordará en diferentes secciones que hemos organizado con los siguientes epígrafes:

#### Estudio de la duración de la batida

- Estudio de la duración de la batida en la muestra de saltadores españoles;
- Estudio de la duración de la batida en la muestra de saltadoras españolas;

# • Recorrido del centro de masas durante la batida

- Altura del centro de masas al inicio y el final de la batida (hombres);
- Altura del centro de masas al inicio y el final de la batida (mujeres);
- Recorrido vertical que realiza el centro de masas durante la batida (hombres);
- Recorrido vertical que realiza el centro de masas durante la batida (mujeres);
- Flexión de la articulación de la rodilla de la pierna de batida durante el último apoyo (hombres);
- Flexión de la articulación de la rodilla de la pierna de batida durante el último apoyo (mujeres);
- Inclinación del saltador al inicio de la batida (hombres);
- Inclinación del saltador al inicio de la batida (mujeres);

- Implicación de los segmentos libres en la batida
  - Implicación de los brazos en la batida;
  - Contribución de la pierna libre en la batida;
  - Velocidad del centro de masas durante la batida
    - Comportamiento de la velocidad del centro de masas durante la batida (hombres);
      - La velocidad horizontal del centro de masas durante la batida (hombres);
      - La velocidad vertical del centro de masas durante la batida (hombres);
      - La velocidad de proyección del centro de masas al final de la batida (hombres);
    - Comportamiento de la velocidad del centro de masas durante la batida (mujeres).
      - La velocidad horizontal del centro de masas durante la batida (mujeres);
      - La velocidad vertical del centro de masas durante la batida (mujeres);
      - La velocidad de proyección del centro de masas al final de la batida (mujeres);

# TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Los datos, una vez establecidos para cada parámetro, fueron almacenados en una base de datos (Excel de Microsoft) y posteriormente analizados mediante un paquete informático de estadística (SPSS 11.0 para Windows).

## Estadística descriptiva

Se empleó una estadística descriptiva para describir la variabilidad de los parámetros utilizados en cada estudio, tomando como valores de uso la media y las desviaciones típicas de los mismos.

#### Estadística inferencial

Así mismo, con el fin de comparar los comportamientos de la muestra objeto de estudio con los valores de referencia, se hizo una estadística comparativa en la que por las características de la muestra (bajo número de sujetos) y la dispersión de los resultados, precisa de análisis no paramétricos para series independientes (Test de U-Mann Whitney) con los que evaluar las variables analizadas en este capítulo.

## ESTUDIO DE LA DURACIÓN DE LA BATIDA

Pese a que esta variable determina el tiempo de aplicación de fuerzas durante la fase de impulso, la cantidad de fuerza desarrollada dependerá de los componentes musculares contráctiles y reactivos y de su nivel de entrenamiento. Así, dos saltadores con un mismo tiempo de batida desarrollarán un impulso de fuerza diferente en función de su capacidad de generar fuerza en este intervalo de tiempo. Esto es lo que explica, por ejemplo, que los hombres y las mujeres suelan tener, entre especialistas de la modalidad, mismos tiempos de batida y mismos niveles de destreza técnica, y, sin embargo, rendimientos deportivos diferentes, lo que no disminuye la importancia que este parámetro tiene en lo que hemos considerado como la fase más importante del salto de altura.

## Estudio de la duración de la batida en la muestra de saltadores españoles

Se ha comprobado en la revisión bibliografica realizada como la duración de la batida se mueve en rangos de tiempo que podemos describir como *relativamente grandes* (0.12 a 0.23 segundos). Pero también tenemos que tener presente que, a elevados niveles de rendimiento, pequeñas variaciones en una variable como la que nos ocupa, supone para el deportista, un cambio sustancial en el resultado final del salto. No obstante, ya vimos

nento los autores. Digitalización realizada por UI PGC. Bibliote

en los trabajos de Ritzdorf *et alii*<sup>114</sup> como este valor presenta una gran estabilidad entre los especialistas de esta modalidad atlética.

En nuestro caso, vemos como los tiempos de batida de los atletas de nuestra muestra entran dentro de los rangos de normalidad (0.15 a 0.19 segundos) con promedios de 0.168 ± 0.018 segundos. Sus valores no difieren en gran medida de los encontrados entre los saltadores internacionales utilizados como muestras de referencia, sin que por ellos existan diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Veáse en el siguiente cuadro los tiempos de contacto de la batida y la altura máxima del C.M. de los atletas de control y de referencia. El dato que se encuentra entre paréntesis corresponde a la altura a la que estaba situado el listón en el salto analizado.

<sup>&</sup>lt;sup>114</sup> Rizdorf, W., A. Conrad y M. Loch, "Intra-individual comparison of the jumps of Stefka Kostadinova at the II World Championship in athletics Rome 1987 and the Games of the XXI Olympiad Seoul-1988", *art.cit.*, pp. 35-41.

Atleta	Altura Máxima del C.M. (m)	Tiempo Batida (seg)
A. Ortiz	2.35 (2.26)	0.14
I. Pérez	2.29 (2.21)	0.16
G. Bécker	2.28 (2.21)	0.18
A. Badolato	2.19 (2.15)	0.19
M. Pagés	2.20 (2.12)	0.19
C. Peña	2.20 (2.12)	0.18
J. Rofes	2.19 (2.08)	0.18
R. Lozano	2.17 (2.04)	0.15
O. González	2.12 (2.04)	0.16
E. Aramburuzabala	2.07 (2.04)	0.15
Media Nacional (10)	2.21	0.17 ( 0.15 – 0.19)
DT	± 0.08	± 0.02
Media Internacional (59)	2.35	0.21 ( 0.14 – 0.23)
DT	± 0.08	± 0.02
Media Mejores (10)	2.45	0.18 ( 0.15 – 0.21)
DT	± 0.07	± 0.02
P. Sjöeberg	2.54 (2.38)	0.16
I. Paklin	2.53 (2.38)	0.18
D. Mögenburg	2.52 (2.38)	0.15
G. Avdeyenko	2.50 (2.38)	0.20
J. Sotomayor	2.44 (2.37)	0.21
S. Matei	2.38 (2.36)	0.15
T. Forsyth	2.42 (2.35)	0.20
C. Thränhard	2.42 (2.34)	0.18
D. Stones	2.33 (2.34)	0.17
N. Saunders	2.43 (2.34)	0.16

Tabla - 6. Tiempos de batida en hombres.

Hay que señalar que los tiempos de batida de los saltadores nacionales presentan una ligera tendencia a ser menores que los saltadores de las otras muestras (1/100 segundo), lo que algunos técnicos consideran positivo, pero en nuestra opinión, posiblemente afecte negativamente al impulso de fuerza que logran nuestros especialistas durante la batida.

Es evidente que este parámetro, por sí solo, no es determinante a la hora de encontrar las claves que marcan las diferencias en el rendimiento entre las muestras,

pero, lo que sí tiene relevancia para el resultado final es todo aquello que lleva implícito la duración de esta fase como son las trayectorias anteroposteriores y verticales del C.M., fuerzas aplicadas, y otras aspectos condicionales.

En el gráfico siguiente se puede observar la relación entre el tiempo de batida y la altura de salto en la muestra masculina de los 10 mejores saltos de atletas internacionales (I) y la de saltadores nacionales (N).

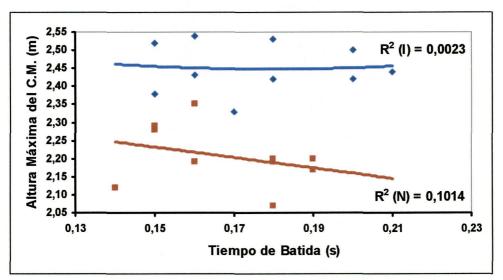


Fig. 21. Ecuación de la relación entre altura máxima del C.M. y tiempo de batida.

Comprobar la baja repercusión que tiene el tiempo de batida en el resultado resulta sencillo comparando los valores que presentan los sujetos de nuestra estudio (N) con la muestra de referencia (I). Percibimos que no existe una relación directa entre ambas variables, siempre que se mantenga dentro de unos límites de eficiencia, lo que traslada la importancia del salto a otras variables que pudieran ser intrínsecas, como las trayectorias, o extrínsecas a la duración de la batida, como la deficitaria aplicación de fuerzas.

# Estudio de la duración de la batida en la muestra de saltadoras españolas

En el caso de las mujeres, la duración de la batida también está dentro de los límites de la normalidad (0.15 - 0.19 segundos) con un valor promedio de  $0.16 \pm 0.02 \text{ segundos}$ .

Una vez más, los datos coinciden plenamente, en ambos casos, con los de las muestras de referencia  $0.16 \pm 0.02$  segundos para un rango entre 0.12-0.23 segundos para el grupo (I) y 0.14-0.18 segundos ( $I_{10}$ ) respectivamente.

Atleta	Altura Máxima C.M. (metros)	Tiempo Batida (segundos)
Marta Mendía	1.91 (1.83)	0.16
Carlota Castrejana	2.00 (1.80)	0.15
Mª Mar Martinez	1.83 (1.74)	0.19
Ainara Mondina	1.80 (1.74)	0.16
Cristina Teixeira	1.79 (1.71)	0.17
Victoria Fernández	1.75 (1.67)	0.17
Agustina Manresa	1.72 (1.67)	0.17
Media Nacional ( 7)	1.83	0.16 ( 0.15 – 0.19)
DT	± 0.10	± 0.02
Media Internacional (77)	1. 98	0.16 ( 0.12 - 0.23)
DT	± 0.07	± 0.02
Media Mejores (10)	2.07	0.16 ( 0.14 – 0.18)
DT	± 0.06	± 0.01
S. Kostadinova	2.19 (2.09)	0.14
S. Costa	2.10 (2.04)	0.16
T. Bikova	2.11 (2.04)	0.17
L Ritter	2.11 (2.03)	0.18
H. Henkel	2.02 (2.02)	0.14
S. Beyer	1.96 (2.02)	0.15
T. Waller	2.08 (2.00)	0.17
E. Draguieva	2.05 (2.00)	0.15
A. Astefei	2.07 (2.00)	0.15
I. Quintero	2.02 (1.97)	0.17

Tabla - 7. Tiempos de batidas en mujeres.

En la tabla anterior, estudiamos los tiempos de contacto de las muestras femeninas de control y de referencia. Así mismo, en la columna central se reflejan los valores que corresponden a la máxima altura lograda por el C.M. y la altura a la que se encontraba el listón. El paréntesis que aparece en la primera columna de datos refleja la altura a la que estaba situado el listón en el salto analizado.

En el grupo de saltadoras nacionales es donde se observan con mayor claridad las diferencias con respecto a las atletas de referencia. En este caso, nos referimos a las de tipo condicional (fuerza) y técnicas pero no al tiempo de duración de la batida. El primer aspecto lo podemos observar en la gráfica siguiente. Normalmente, no suele existir entre saltadores/as de alto nivel una relación matemática entre la duración de la batida y la altura que logra el saltador en cada intento. Sin embargo, vemos como en las mujeres de nuestra muestra, conforme aumenta la duración de la batida menor es la altura que alcanza su C.M. [Altura de elevación del C.M. = 397,22 x (Tiempo de Batida)<sup>2</sup> - 139,58 x (Tiempo de Batida) + 14,008]. Esto nos demuestra que, pese a tener tiempo suficiente para aplicar la fuerza de impulso, los déficits que tienen en esta capacidad condicional le limitan la altura de vuelo. Sin embargo, es necesario analizar este comportamiento de forma individualizada, ya que existe una elevada diferencia en el comportamiento de cada una de las atletas nacionales (DT. ± 0.05 cm) a la vez que responden a perfiles de rendimiento diferentes.

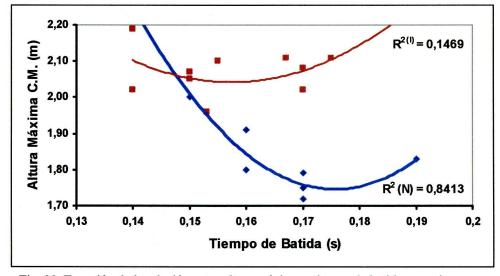


Fig. 22. Ecuación de la relación entre altura máxima y tiempo de batida en mujeres.

Mientras algunas atletas presentan tiempos de batida bastante cortos (0.15 y 0.16 seg.) para saltos importantes de 2.00 y 1.91 metros respectivamente, otras realizan tiempos de batida algo superiores (0.17 seg.) pero no muy diferentes para vuelos de poca entidad (1.75 y 1.72 metros).

En el gráfico anterior, mostramos la relación entre el tiempo de batida y la altura de salto en la muestra femenina. I: Muestra de los 10 mejores saltos de atletas

internacionales. N: Muestra de saltadoras nacionales. De ella, se desprende que el grupo de referencia se mueve dentro de los límites de eficiencia, mientras que las saltadoras de nuestro estudio ejecutan tiempos de aplicación de fuerza, a priori, escasos para las características técnicas y condicionales de estas deportistas.

Por otro lado, las deficiencias técnicas las podemos constatar también al comparar la diferencia existente entre la altura de vuelo que alcanza el C.M. y la altura de listón en la muestra nacional, especialmente en la categoría femenina (Hombres: I<sub>10</sub>: 9 cm vs. In: 4 cm vs. N: 8 cm; Mujeres: I<sub>10</sub>: 5 cm vs. In: 7 cm; vs. N: 9 cm).

#### **CONCLUSIONES**

En nuestro estudio comprobamos que ambas muestras de deportistas nacionales (masculina y femenina) no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto a los saltadores de los grupos de referencia de nivel internacional. Con los datos obtenidos se percibe que el tiempo de duración en la aplicación de fuerzas durante la batida (impulsos de fuerza) son iguales y las alturas máximas que alcanzan con el C.M. son inferiores (Hombres y Mujeres p<0.000), lo que nos hace pensar que las diferencias existentes entre ambas muestras se deben a una menor preparación técnica o específica de los atletas y, fundamentalmente, a desigualdades en los niveles de preparación física (fuerza específica) existente entre ellos.

#### RECORRIDO DEL C.M. DURA NTE LA BATIDA

El recorrido del C.M. durante esta fase del salto viene dada por la diferencia de altura que tiene al principio y al final de la batida, la cual, a su vez, viene condicionada por las trayectorias laterales y antero – posteriores que realiza el deportista con la intención de enderezar su cuerpo durante la batida y por la extensión de la pierna de impulso durante la misma. Tres recorridos diferentes del C.M. se producen en esta importante fase del salto: uno vertical (35 – 50 centímetros), uno lateral y uno atrás –adelante (65 – 75 centímetros). De todos ellos, a nosotros nos ha interesado analizar el recorrido vertical del C.M., ya que, es el que más directamente influye sobre la velocidad vertical (Vz)

con la que despega el saltador al final de la batida en virtud a la siguiente ecuación[Vo =  $2 \times (H_1 - H_0) / T_b$ ].

Para lograr incrementar la trayectoria del centro de gravedad, el saltador debe iniciar la batida con el centro de gravedad lo más bajo posible, mientras que al finalizar la misma el saltador debe haberlo elevado tanto como pueda, sin perder eficacia, en el corto espacio de tiempo que, idealmente, siempre debe durar la batida. Conseguir iniciar la batida con una posición óptima del C.M. resulta una tarea compleja al alcance de aquellos atletas que presentan un buen nivel técnico y condicional. Para ello, el saltador debe ir buscando la posición del cuerpo más favorable durante los últimos pasos de la carrera de aproximación y, muy especialmente, durante la ejecución de los 3-5 últimos apoyos. Hay que destacar que éstos son valores estándar que sirven de referencia para la evaluación del salto y hay que tener presente el tipo de batida utilizada y las características musculares del saltador para poder hacer un estudio individualizado.

# Altura del C. M. al inicio y final de la batida en la categoría masculina

Una posición baja del C.M. al inicio de la batida viene determinada por una adaptación de la amplitud de los dos últimos pasos, una acción activa en el penúltimo paso, una posición más baja de los segmentos libres y por las inclinaciones del tronco en los planos frontales y sagitales. No obstante, en las competiciones más relevantes, observamos la tendencia de algunos saltadores de máximo nivel a no realizar la extensión completa de la articulación de la rodilla en el antepenúltimo apoyo. Esto se puede conseguir desarrollando la fuerza especial con el objetivo de poder adelantar la cadera con mayor facilidad.

Si observamos la tabla siguiente, vemos como los saltadores nacionales no son capaces de bajar el centro de gravedad en la misma proporción a como lo hacen el grupo de saltadores internacionales (77 atletas) o los diez mejores deportistas internacionales utilizados como referencia (p<0.03). Nuestra muestra inicia la batida con el centro de gravedad demasiado alto (96.1  $\pm$  5 cm; 50.2 %  $\pm$  2.17 % de su estatura) si lo comparamos con los resultados de otros grupos de control (In: 87.1  $\pm$  6 cm; 45.5 %  $\pm$  2.4 % de la estatura y  $I_{10}$ : 93.5  $\pm$  6 cm; 47.9 %  $\pm$  2.4 % de la estatura). Sus valores, aceptando los problemas inherentes al protocolo utilizado, están ligeramente por encima

de los que sería el límite máximo de elevación con el que, teóricamente, se debería llegar con el C.M. al inicio de la batida (50% de la estatura). Destaca el elevado descenso que realiza Sotomayor, quien en este salto analizado se calcula que descendió hasta una altura del 43.1% de su estatura. Recordemos que saltadores muy fuertes de piernas deben poder entrar muy bajos y muy rápidos a la batida (Sotomayor: HTD – 43.1% y VH<sub>UP</sub> – 8.02 m.s<sup>-1</sup>). Tal comportamiento hace pensar que este tipo de saltador tendrá que efectuar una batida larga que, tradicionalmente, se conoce como batida de fuerza. Tal hipótesis se cumple en el caso de los tres saltadores que llegan a la batida más bajos (Sotomayor: 43.1 % vs. 30 ms; Avdeyenko: 45.0 % vs. 20 ms; Paklin: 47.4 % vs. 18 ms). Por el contrario, esta premisa no se cumple entre los componentes de la muestra nacional. Así, GB que es capaz de llegar a la batida con el C.M. a un 47.3 % de la estatura, realiza una batida relativamente larga, pero no ocurre lo mismo con RL (48.9 %) y OG (48.7 %) cuyas batidas son de 15 y 16 milisegundos respectivamente.

En la tabla siguiente, podemos estudiar las alturas del centro de masas al inicio y al final de la batida. La explicación de las siglas es como sigue: HTD equivale a la altura del centro de masas en el inicio de la batida en centímetro y en su % respecto a la estatura, HTO, como la altura del centro de masas al final de la batida en centímetro y % respecto a la estatura y el Recorrido: hace referencia a la diferencia, en centímetros, entre HTD y HTO.

Atleta	HTD (m)	HTD (%)	HTO (m)	HTO (%)	Recorrido
A. Ortiz	1.02	53.7	1.40	73.7	38
I. Pérez	0.98	50.3	1.45	74.4	47
G. Bécker	0.87	47.3	1.24	67.4	37
A. Badolato	0.96	50.0	1.37	71.4	41
M. Pagés	0.94	49.5	1.40	73.7	46
C. Peña	0.97	49.7	1.39	71.3	42
J. Rofes	1.05	54.4	1.51	78.2	46
R. Lozano	0.92	48.9	1.40	74.5	48
O. González	0.94	48.7	1.32	68.4	38
E. Aramburuzabala	0.96	49.2	1.40	71.8	44
Media Nacional (10)	0.96	50.2	1.39	72.5	42.7
DT	0.05	2.21	0.07	3.15	3.7
Media Internacional (127)	0. 89 <sup>115</sup>	45. 5 <sup>78</sup>	1. 34 <sup>116</sup>	69. 6 <sup>79</sup>	45. 2 <sup>79</sup>
DT	0.07	2.4	0.07	2.64	4.0
Media Mejores (10)	0. 94	47. 9	1. 37	69. 9	42. 9
DT	0.06	2.4	0.07	2.86	6.1
P. Sjöeberg	0.96	48.0	1.37	68.5	0.41
I. Paklin	0.91	47.4	1.45	75.5	0.54
D. Mögenburg	1.01	50.2	1.43	71.1	0.42
G. Avdeyenko	0.91	45.0	1.43	70.8	0.52
J. Sotomayor	0.84	43.1	1.30	66.7	0.39
S. Matei	0.90	49.0	1.24	67.4	0.34
T. Forsyth	0.99	50.3	1.41	71.6	0.42
C. Thränhard	0.98	49.5	1.41	71.2	0.43
D. Stones	0.98	50.0	1.29	65.8	0.37
N. Saunders	0.87	46.3	1.32	70.2	0.45

Tabla - 8. Altura del CM al inicio y al final de la batida en categoría masculina.

Este comportamiento de los saltadores nacionales puede estar derivado por tres razones: un insuficiente descenso en los pasos de preparación de la batida; pocas inclinaciones laterales o antero - posteriores; o falta de fuerza para poder soportar una baja posición al inicio de la batida. Hablamos por lo tanto, de dos razones técnicas y una condicional. Destacar el hecho de que los dos mejores saltadores nacionales sean los que menos bajen el C.M. en esta fase del salto (53.7% y 50.3%).

Número de saltadores 109.Número de saltadores 38.

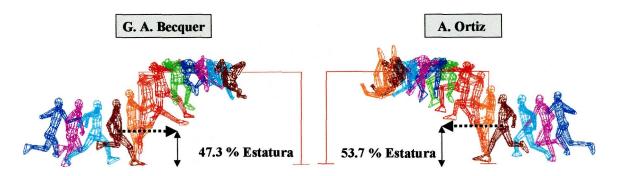


Fig. 23. Fotogramas de dos saltos con mayor elevación del C.M. al inicio de la batida.

Una llegada elevada al inicio de la batida afectará a la velocidad vertical de despegue y, por lo tanto, condicionará la altura del salto. Existe una tendencia a darse una relación inversa entre ambas variables: a mayor altura del C.M. al inicio de la batida le corresponde una menor velocidad vertical al final de la batida, especialmente entre saltadores experimentados, como podemos apreciar en el siguiente gráfico:

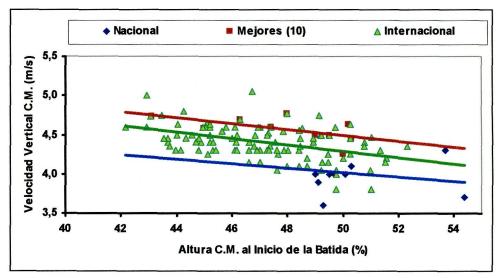


Fig. 24. Altura del C.M. al inicio de la batida y la velocidad de despegue en hombres.

La altura del C.M. al final de la batida depende de diferentes aspectos, que por su importancia, destacamos la extensión de la pierna de batida, la extensión completa del tronco, la inclinación de la pelvis y la posición óptima de los segmentos libres al final de la impulsión.

Al final del impulso, el centro de gravedad de nuestros saltadores alcanzó el 72.5 ± 2.86 % de la talla del saltador, lo que entra dentro del rango de normalidad que propone el profesor Dapena como ideal.

Cuando hacemos la confrontación con los saltadores internacionales, debemos tener en cuenta que el número de saltos disponibles es claramente inferior (38 saltadores) a los datos que se manejan con respecto al momento en que se produce el contacto del pie de impulso en el suelo (60 saltadores). Aún así, se comprueba que el comportamiento de estos saltadores, respecto a esta variable, es inferior a la de los saltadores nacionales (In:  $69.6\% \pm 2.6\%$  de la estatura y  $I_{10}$ :  $69.9\% \pm 2.9\%$  de la estatura), e inferior también al valor que se supone como ideal para deportistas de esta categoría.

De estos valores se derivan dos conclusiones vinculadas entre sí que afectan de manera diferente a las muestras utilizadas. En primer lugar, debemos pensar que los valores teóricos que habitualmente se utilizan (70-75%) pueden resultar excesivos para deportistas de alto nivel. Este hecho determina que no todos los saltadores de nivel internacional se comportan de esta manera. Quizás sería más apropiado hablar de valores que rondan entre el 68-72% de la estatura del saltador. En cualquier caso, la metodología utilizada para determinar el C.M. resulta un factor distorsionante de estos valores en cada uno de los estudios utilizados como referencia.

El problema puede derivar de las diferentes aplicaciones de la técnica que se hacen, por cada deportista, y que afectan a los desplazamientos que realizan los segmentos libres durante la fase de impulso. Estas acciones deben ser dinámicas y amplias, pero también los brazos y pierna libre deben ser frenados bruscamente, especialmente los brazos en el momento oportuno, para poder realizar la acción de arrastre. Para lograrlo, no se debe ejecutar una elevación excesiva de los brazos por encima de la cabeza, y/o que la misma responda a una ejecución poco dinámica y sin bloqueo.

El segundo aspecto a considerar en el estudio de nuestra muestra son los elevados valores que, en ocasiones, podemos encontrar entre nuestros saltadores. En

algún caso, llega hasta valores próximos al 80% de la estatura (JR). Este comportamiento está directamente relacionado con la altura con la que llega el C.M. del saltador al inicio de la batida (muestra nacional, r = 0.74), pudiendo ser éste el origen del problema señalado. Esta forma de ejecutar la batida provoca una elevación ficticia del C.M. que le permite un mayor recorrido vertical durante el tiempo que dura el impulso, pero posiblemente reste eficiencia a esta acción.

En el gráfico siguiente aparece la relación existente entre la altura del C.M. al inicio (HTD) y al final de la batida (HTO), correspondiente a las muestras de saltadores nacionales y de los diez mejores internacionales (hombres).

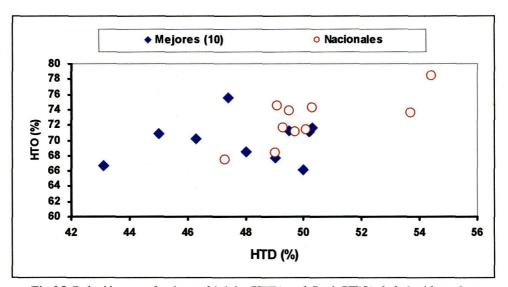


Fig.25. Relación entre la altura al inicio (HTD) y al final (HTO) de la batida en las muestras nacionales e internacionales.

Observamos en la gráfica que existe una leve tendencia a desplazarse hacia la derecha y hacia arriba la posición de los atletas de menor nivel de rendimiento que, en este caso, corresponde al grupo de saltadores nacionales. Es decir, la altura de entrada es mayor cuanto menor es el nivel del deportista, a la vez que se detecta una pequeña tendencia a despegar desde una posición más elevada. Sin embargo, aunque esto beneficia al saltador, debe ser interpretado conjuntamente con otras variables que expliquen de forma más precisa la eficiencia de la batida.

## Altura del C. de M. al inicio y final de la batida en la categoría femenina

Al igual que ocurría entre los saltadores de la categoría masculina, las mujeres estudiadas entran a la batida ligeramente más altas que las de referencia que nos aporta el grupo de nivel internacional (50.1% de la estatura vs. 48.0% de la estatura; p<0.03), como se observa en la tabla siguiente. La interpretación de las siglas se explicó en la tabla precedente.

Atleta	HTD (m)	HTD (%)	HTO (m)	HTO (%)	Recorrido
Marta Mendía	0. 87	49. 8	1. 25	71.2	38
Carlota Castrejana	0. 95	50.6	1. 26	67.0	31
Mª Mar Martínez	0. 86	48. 3	1. 30	72.4	44
Ainara Mondita	0. 88	49. 2	1. 20	67.0	32
Cristina Teixeira	0. 97	54. 9	1. 30	73.7	33
Victoria Fernández	0. 84	49. 1	1. 18	68.7	34
Agustina Manresa	0. 87	49. 1	1. 18	67.4	31
Media Nacional (10)	0.89	50. 1	1. 24	69.6	34.7
DT	0. 25	0.01	2.21	0.05	4.8
Media Internacional (60)	0. 88	49. 22	1. 22 <sup>117</sup>	67. 2 <sup>80</sup>	37. 1 <sup>80</sup>
DT	0. 05	2. 21	0. 06	2. 46	0.04
Media Mejores (10)	0. 86	48,00	1. 20	66. 73	34. 1 <sup>(6)</sup>
DT	0. 05	2. 31	0. 02	1.30	5.7
S. Kostadinova	0. 83	46,4	1. 18	65. 92	33
T. Bikova	0. 81	45,5	1. 23	69. 1	42
L. Ritter	0. 82	45,8	1. 18	65. 92	36
S. Costa	0. 94	51,5	1. 18	65.9	24
H. Henkel	0.8	45,2			
S. Beyer	0. 88	48,35	1. 20	67. 8	32
T. Waller	0. 93	50,5			
A. Astefei	0.86	50,5	1. 23	66. 9	39
E. Draguieva	0.89	49			
I. Quintero	0. 85	47,2	1. 18	65. 56	33

Tabla - 9. Altura del CM al inicio y al final de la batida en categoría femenina.

La tabla 9 nos proporciona los datos individuales al inicio y al final de la batida de la muestra nacional e internacional diferenciando entre el grueso de la muestra y los datos personales de las diez mejores saltadoras. La diferencia entre el valor superior e inferior es de 6.6 % de la estatura, como se observa en estos dibujos:

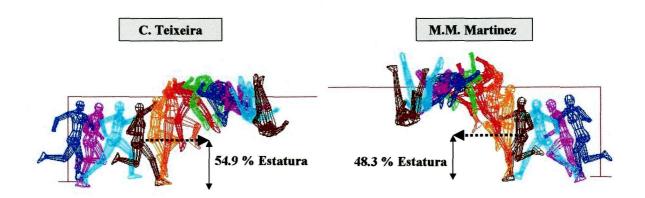


Fig. 26. Fotogramas de dos saltadoras mostrando la altura del C.M. al inicio de la batida.

Algo similar ocurre con la altura que alcanza el C.M. en relación con la estatura, en el momento final de la batida (N: 69.6% de la estatura vs  $I_{10}$ : 66.7% de la estatura; p<0.04). Todo ello se va a reflejar de forma negativa en los desplazamientos del C.M. durante la batida.

### Recorrido que realiza el C. M. durante la batida en la población masculina

Primakov *et alii*<sup>118</sup> indican que el desplazamiento vertical de la trayectoria del C.M. debe situarse en torno a los 38-48 centímetros. Encuentran los autores una elevada correlación entre este recorrido y la máxima altura del centro de gravedad durante el vuelo. Esta distancia varía de forma individual en función de la técnica que se realice. En ese sentido, valoran sobremanera el movimiento de la pierna libre. Por lo tanto, aquellos saltadores que realicen una acción de péndulo con la pierna flexionada tendrán un recorrido vertical entre 3-5 centímetros menor que los que mueven la pierna libre con la rodilla extendida.

<sup>&</sup>lt;sup>117</sup> Número de saltadores: 15.

<sup>&</sup>lt;sup>118</sup> Primakov, IN., I.V. Lazarev y V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art cit., p. 15.

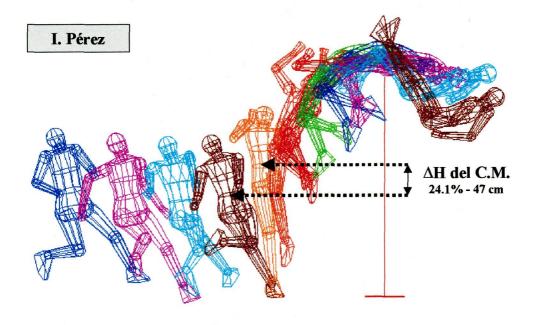


Fig. 27. Ejemplo de recorrido excelente en un saltador de la muestra estudiada.

Referenciamos en la tabla anterior como en ambos grupos el recorrido vertical del C.M. es muy similar (Nacional:  $42.9 \pm 3.7$  cm; Internacional  $45.2 \pm 4.0$  cm; Mejores:  $42.9 \pm 6.1$  cm), estando estos valores dentro de lo que en la bibliografía especializada entiende como normal para atletas experimentados (40-46 cm). Sin embargo, pese a que el tiempo de contacto es similar en ambos grupos, la altura que superan los saltadores de nuestra muestra es netamente inferior, lo que nos inclina a pensar que la fuerza que desarrollan en la batida también es inferior, bien por unos menores niveles de potencia o de fuerza, o bien porque no son capaces de generar la fuerza necesaria durante el recorrido ascensional. Nigg *et alii* <sup>119</sup> señalan que este valor se correlaciona con la altura, pero aceptando lo expuesto con anterioridad, no hay concordancia con los resultados por nosotros obtenidos ( $r^2 = -0.38$ ).

Sólo tres de los saltadores nacionales son capaces de aplicar recorridos verticales superiores a los que, por término medio, se consideran como recomendables durante la ejecución de la batida. Es de destacar que ninguno de ellos entra demasiado bajo a esta fase del salto. Esto evidentemente va a condicionar la fuerza de empuje que puedan efectuar, aunque si el descenso fuera mayor, quizás no pudieran soportar tantos niveles

<sup>119</sup> Nigg, B., et alii, opus cit.

de fuerza y posiblemente no se podría mejorar la altura de salto. Como ya hemos comentado, Dapena insiste en la necesidad de asegurar un buen descenso del C.M. en la batida, cuidando las acciones que realiza el saltador desde el penúltimo apoyo, y proponiendo diferentes tareas que permiten trabajar la fuerza especial aplicada a mejorar una acción técnica tan compleja y, a la vez, tan determinante en el resultado final. De esta manera, se podrá asegurar un adecuado recorrido durante el empuje.

Esto necesariamente nos obliga a analizar otros aspectos que contribuyen a mejorar la altura del C.M. al inicio de la batida para poder aumentar el recorrido y aplicar mayores fuerzas durante la misma. La velocidad vertical del saltador en el momento del despegue, así como los desplazamientos que realiza el eje que une el punto de apoyo con el C.M. son dos aspectos que nos van a permitir profundizar en esta cuestión, aunque mencionamos que las características musculares, nivel de entrenamiento y la posición de máxima eficacia mecánica son de vital importancia en la acción descrita.

### Recorrido que realiza el C. M. durante la batida en la población femenina

En el grupo de mujeres nacionales la elevada altura con la que el C.M. entra a la batida se traduce en un menor recorrido vertical del C.M. (2.3 cm.) y en la menor posibilidad de desarrollar las fuerzas necesarias con las que incrementar la velocidad vertical en el momento del despegue. Aunque las diferencias entre el grupo experimental y el grupo de control no son estadísticamente significativas, la realidad nos sitúa en torno a un 6%, que en este tipo de poblaciones resultan unas oscilaciones considerables.

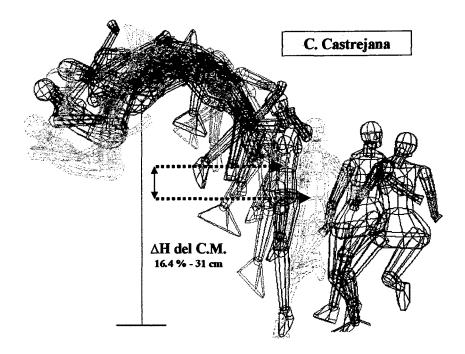


Fig.28. Ejemplo de un recorrido escaso en una saltadora de la muestra estudiada.

Sin embargo, cuando vemos, en las dos muestras antes mencionadas, la relación existente entre estas dos variables (HTD-HTO vs. Vz), se percibe que su comportamiento no es similar. En las atletas de mayor nivel comprobamos que cuanto más largo es el recorrido mayor es la velocidad con la que inician el vuelo, con lo cual aprovechan este parámetro para generar fuerzas de impulso. Por el contrario, en la muestra nacional vemos que las saltadoras no son capaces de hacerlo.

En el siguiente se aprecia la relación entre el recorrido vertical del C.M. durante la batida y la velocidad de despegue en el grupo femenino nacional (n) y el grupo internacional de referencia (I).

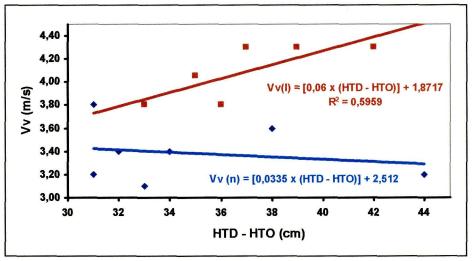


Fig. 29. Relación entre el recorrido del C.M. y su velocidad vertical.

Las saltadoras más experimentadas tienden a incrementar la velocidad de despegue conforme se aumenta la distancia vertical recorrida por el C.M., lo que no se observa en la muestra nacional. Esto puede obedecer a carencias condicionales en la aplicación de fuerzas durante el recorrido de impulso.

## Flexión de la articulación de la rodilla de la pierna de batida durante el último apoyo (hombres)

Un saltador de altura debe ejecutar una batida presentando la pierna de impulso con el C.M. bajo al inicio del despegue, en una situación en la que la velocidad supera los 7.5-8.0 m.s<sup>-1</sup> en el caso de los hombres y los 6.5-7.0 m.s<sup>-1</sup> en el caso de las mujeres. Se trata de llegar al apoyo atenuando la flexión de la rodilla para no hundirse excesivamente durante la ejecución de esta difícil acción técnica. En estas condiciones, los apoyos previos deben contactar de forma muy activa con el suelo para que no haya pérdida ostensible de velocidad. Lo ideal es buscar un penúltimo apoyo con una tracción muy agresiva, para que la respuesta a ese empuje (ya en doble apoyo) se materialice en traspasar la energía de esa pierna a la pierna de batida.

En los dibujos siguientes se puede contemplar las diferencias técnicas de una buena e imperfecta batida:

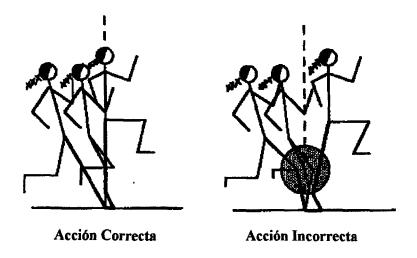


Fig. 30. La forma correcta e incorrecta de la batida.

Esta acción compleja conduce a un retraso de los hombros con respecto a las caderas mientras se mantiene la inclinación hacia el interior de la curva compensando la fuerza centrífuga que nos produce la misma. Este movimiento precisa una elevada coordinación entre las distintas partes del cuerpo, además de requerir unos elevados niveles de fuerza, especialmente en los músculos de las piernas. Esta puede ser la razón por la que el descenso del cuerpo al inicio de la batida se manifiesta de forma más acentuada en los saltadores que en las saltadoras.

A continuación, exponemos los datos que hacen referencia a dichos valores:

Atleta	° Flexión de la Rodilla al Inicio de la Batida	° Máxima flexión de la Articulación de la Rodilla	° Flexión de la Rodilla al Final de la Batida	Diferencia entre el principio y el final de la Batida
A. Ortiz	167°	145°	164°	19°
I. Pérez	170°	146°	167°	21°
G. Bécker	162 °	144°	171°	27°
A. Badolato	172°	126°	167°	41°
A. Pagés	172 °	146°	170°	24 °
C. Peña	162 °	128°	173 °	45°
J. Rofes	173 °	142°	174°	32 °
R. Lozano	164°	129°	163 °	34 °
O. González	176°	136°	162°	26°
E. Aramburuzabala	156°	144°	174°	30 °
Media	166. 6 °	138. 6°	168. 5 °	29. 9 °
SD	6.75°	8.10°	4.55 °	8.35 °

Tabla - 10. Angulaciones de la rodilla durante la batida en hombres.

Hemos visto que los valores de referencia de este parámetro son, según Conrad y Ritzdorf<sup>120</sup>, de 165°-175° al inicio de la batida, llegando a 130°-155° durante la fase de amortiguación. Esto supone una flexión entre 20°-35° en la que la máxima flexión va a corresponder a la fase de transición entre la amortiguación y el impulso. Krazhev *et alii*<sup>121</sup> señalan que el ángulo mínimo de esta articulación oscila, en saltadoras, entre los 130°-155°, con unos valores para Kostadinova que están entre los 151°-155° y para Bykova entre los 136°-139°. Por su parte, Vélez referencia valores entre 135°-145°.

Observamos como nuestros saltadores entran muy bajos (166.6° ± 6.75°) y realizan una flexión elevada de la pierna de impulso en el momento de realizar la batida (138.6° ± 8.10°). En algunos casos, podemos hablar de una flexión exagerada que probablemente afecte a la eficacia de este gesto técnico. Sin embargo, por término medio, el recorrido que realiza la articulación de la rodilla, entre los componentes de

121 Krazhev, opus cit.

<sup>&</sup>lt;sup>120</sup>Conrad, A., W. Ritzdorf, "Biomechanical análisis of the high jump", art. cit., p. 203.

nuestra muestra es amplio (29.9° ± 8.35°), pero dentro del rango de la normalidad (20°-35°). No obstante, estos valores de referencia pueden ser menores entre algunos saltadores de alto nivel. Con cierta frecuencia se observa que algunos saltadores principiantes o de nivel medio, también realizan menores cambios en el recorrido de la articulación de la rodilla, pero en este caso dicho comportamiento está motivado por una menor trayectoria ascensional del C. M. durante esta fase del salto (Primakov *et alii*).

En la siguiente imagen podemos observar el gesto de la batida y los valores angulares de la articulación de la rodilla de un saltador que realiza una excesiva flexión de esta articulación al final de la amortiguación.

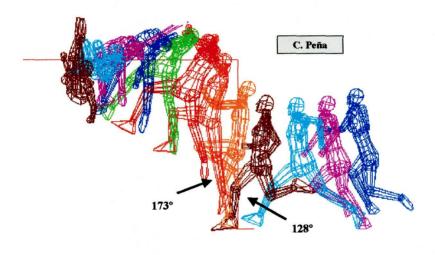


Fig. 31. Fotogramas de un salto que ilustra la flexión de la rodilla en la amortiguación y en el final de la batida.

Se observa que por regla general nuestros saltadores acentúan la flexión de la rodilla durante el transcurso de la batida y no en los pasos previos de preparación de la misma. Para poder comprobar esta afirmación analizamos la inclinación lateral y antero-posterior en el inicio de la batida y la posición del C.M. durante la carrera de aproximación. Estos datos aparecen reflejados en los apartados correspondientes.

Comprobamos como nuestros especialistas no entran a la batida con una inclinación elevada, por lo que para ampliar el recorrido del C.M. podrían necesitar

acentuar la flexión de la articulación de la rodilla. No obstante, este comportamiento no siempre resulta eficiente en esta modalidad atlética. Tal acción precisa de una fuerte musculatura extensora de la cadena cinética tobillo-rodilla-cadera, pues de lo contrario afectaría muy negativamente en la aceleración vertical del C.M. en la fase concéntrica del empuje.

# Flexión de la articulación de la rodilla de la pierna de batida durante el último apoyo (mujeres)

En la tabla siguiente reflejamos los valores que durante la batida nos aporta la articulación de la pierna correspondiente de las saltadoras nacionales:

	° Flexión de la	° Máxima flexión de	° Flexión de la	° Flexión de la
Atleta	Rodilla al Inicio de		Rodilla al Final de	
	la Batida	la Rodilla	la Batida	la Batida
Marta Mendía	163°	151°	177°	26°
Carlota Castrejana	158°	138°	163°	25°
Mª Mar Martinez	160°	13 <b>7</b> °	165°	28°
Ainara Mondina	159°	134°	150°	16°
Cristina Teixeira	157°	133°	167°	30°
Victoria Fernández	165°	135°	160°	25°
Agustina Manresa	156°	132°	156°	24°
Media	159. 7°	137. 1°	162, 6°	24. 9°
SD	3.3°	6.5°	8.6°	4.4°

Tabla - 11. Datos biomecánicos sobre las angulaciones de la rodilla durante la batida (mujeres).

Podemos observar un perfil similar al de los saltadores analizados. La entrada a la batida se realiza con una flexión excesiva en la articulación de la rodilla y además, se desciende demasiado en la amortiguación, lo que no es efectivo para la mayoría de los saltadores y menos entre aquellos que no tienen unos niveles de fuerza elevados en la cadena muscular extensora del miembro inferior.

Una flexión tan elevada (137.1° ± 6.5°), aunque los valores estén dentro de los límites mínimos de normalidad, provoca una pequeña velocidad de despegue y la imposibilidad de terminar la batida sin lograr una suficiente extensión de la pierna de impulso. Los datos de nuestras saltadoras garantizan que la batida no es vertical; las inclinaciones en ambos planos al final de la batida dan valores superiores a los que caracterizaría a saltadoras experimentadas. Merece la pena destacar el hecho de que seis de las siete saltadoras estudiadas no llegan a realizar una extensión completa de la pierna de impulso al final de la batida, presentando en todos los casos ángulos inferiores a los 170° en la articulación de la rodilla.

Ilustramos un ejemplo de poca eficacia en la ejecución de este gesto técnico, que determina el recorrido útil sobre el que puede trabajar la musculatura extensora de la rodilla. La secuencia de un salto de A.M. se aprecia un recorrido de sólo 16°.

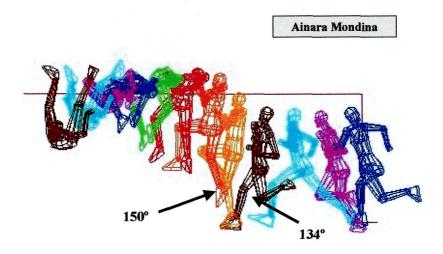


Fig. 32. Fotogramas de una saltadora con poco recorrido del C.M.

#### Inclinación del saltador al inicio de la batida (hombres)

En el fosbury-flop, los últimos apoyos se hacen en el tramo de una trayectoria curva, en la que el saltador llega a la batida en una posición con el tronco ligeramente retrasado e inclinado hacia el lado contrario del lugar donde se encuentra situado el listón. Durante el transcurso de la batida, se frena el desplazamiento y se produce una rotación, con centro de giro en el pie de apoyo, que traslada enérgicamente el tronco hacia la vertical. Desde el punto de vista teórico, cuanto más acentuada es esta posición, es decir, cuanto

mayores sean las inclinaciones del tronco, mayores velocidades verticales finales del centro de gravedad se alcanzarán, siempre que el atleta sea capaz de soportar niveles eficaces de velocidad de aproximación, de altura del centro de gravedad al inicio de la batida y de acción de segmentos libres (Dapena<sup>122</sup>). Hay que señalar, que en las últimas competiciones de nivel, las inclinaciones atrás-adelante del tronco son menos marcadas y las laterales más pronunciadas que hace unos años.

Para poder llegar a esta situación al final de la carrera, el saltador va colocando el cuerpo en esta posición durante los tres últimos pasos de carrera, lo que le permite realizar la batida con fluidez y le compensa de la fuerza centrífuga, por pequeña que sea la misma, que tiende a expulsarle hacia el exterior de la curva. En los diagramas siguientes observamos los desplazamientos del cuerpo en los planos frontal (IATD – IATO) y sagital (ILTD – ILTO) durante la ejecución de la batida.

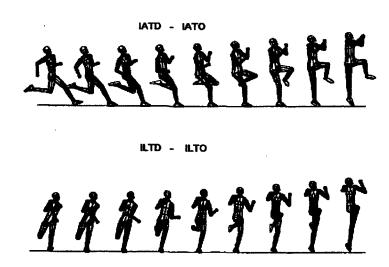


Fig. 33. Inclinaciones en el plano sagital y en el plano frontal.

En el siguiente cuadro se estudian los valores de las inclinaciones del tronco, durante la batida, en los planos frontal y sagital de ambas muestras. La explicación de las siglas utilizadas en el cuadro es la siguiente: ILTD: inclinación en el plano frontal en el momento de iniciar la batida; ILTO: inclinación en el plano frontal en el momento de

 $<sup>^{122}</sup>$  Dapena, J., "Biomechanical analysis of the Fosbury flop. Part I", Track Technique, num. 104, 1988 p. 3312.

finalizar la batida; IATD: inclinación en el plano sagital en el momento de iniciar la batida; IATO: inclinación en el plano sagital en el momento de finalizar la batida.

Atleta	IATD (°)	IATO (°)	IATD-IATO	ILTD (*)	ILTO (°)	ILTD-ILTO
A. Ortiz	83°	88°	5°	7 <b>7</b> °	96°	19°
I. Pérez	73°	81°	8°	85°	107°	22°
G. Bécker	76°	86°	10°	80°	96°	16°
A. Badolato	80°	88°	80	80°	101°	21°
M. Pagés	87°	96°	90	7 <b>7</b> °	9 <b>7</b> °	20°
C. Pena	83°	88°	5°	82°	103°	21°
J. Rofes	84°	92°	80	83°	111°	28°
R. Lozano	79°	88°	90	79°	101°	22°
O. González	86°	98°	12°	81°	103°	22°
E. Aramburuzabala	84°	88°	4°	83°	107°	24°
Media Nacional (10)	81. 5 °	89.3°	7.8°	80. 7°	102 °	21.5°
DT	4.45°	4.9°	2.49°	2.63°	4.81°	3.14°
Media Internacional (44)	75, 5 °	86. 6°	11.6°	76. 0 ° 123	96. 7°	20. 7°
DT	4.5°	4.9°	6.1°	3.8°	5.0°	3.7°
Media Mejores (10)	73. 7°	86.8°	15.0°	76. 2 ° <sup>124</sup>	98. 2 °	22. 2 °
DT	4.2°	4.8°	8.5°	1.5°	7.8°	6.7°
G. Avdeyenko	71°	92°	21°	77°	104°	27°
T. Forsyth	71°	86°	15°	76°	104°	28°
S. Matei	77°	93°	13°	75°	90°	15°
D. Mögenburg	70°	88°	18°		-	
I. Paklin	74°	81°	7°	77°	99º	22°
Saunders	84°	87°	3°			
P. Sjöeberg	74°	86°	10°			
A. Sotomayor	71°	77°	6°	79°	101°	22°
D. Stones	73°	90°	17°	73°	91°	19°
C. Thränhardt	72°	88°	16°			

Tabla - 12. Datos biomecánicos sobre Inclinaciones de las muestras masculinas.

De la tabla anterior se desprende que nuestros saltadores llegan al momento inicial de la batida con menor inclinación del cuerpo en los dos planos analizados. De promedio, los varones de nuestra muestran presentan diferencias significativas en las

<sup>&</sup>lt;sup>123</sup> Número de atletas: 33.

<sup>&</sup>lt;sup>124</sup> Número de atletas: 6.

inclinaciones laterales (p<0.003) y atrás (p<0.001) del cuerpo al inicio de la batida, respecto a saltadores de máximo nivel. En este sentido, el grupo por nosotros analizado presenta inclinaciones laterales menores que la muestra de saltadores internacionales y con respecto a los diez mejores saltos (4.7° y 4.5°). Aún mayores son las diferencias respecto a la inclinación hacia atrás que presenta el cuerpo al inicio de la impulsión, donde los valores llegan a los 6.0° y 7.8° respectivamente. Estas diferencias denotan claramente importantes deficiencias técnicas en la aproximación a esta fase del salto. Al mismo tiempo demuestran la importancia del mismo, especialmente en ILTD, para evaluar el nivel técnico de estos deportistas. Si nos fijamos en la tabla, vemos como algunos de los saltadores más importantes presentan valores muy próximos a los 75° de inclinación lateral (Avdeyenko, Stones, Paklin o Sotomayor); un valor al que sólo se aproxima nuestro máximo exponente en esta modalidad deportiva, AO, y M. P., a la vez que se observa una ligera tendencia a incrementar los grados de inclinación con la mejora del rendimiento. Sin embargo, no debemos olvidar el problema que representa la metodología utilizada al determinar los valores de los sujetos que componen la muestra nacional.

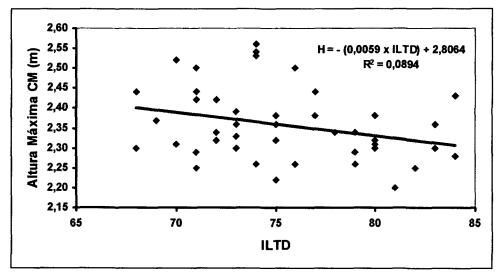


Fig. 34. Ecuación de la relación entre la altura máxima de elevación del C.M. y la inclinación lateral del tronco.

Respecto a la posición del cuerpo al final de la batida (ILTO y IATO) se observan comportamientos ligeramente diferentes de nuestra muestra en relación a los dos planos (frontal y sagital). Mientras en el plano frontal nuestros saltadores pasan claramente de la vertical (102°) al final de la batida, en el plano sagital no ocurre

exactamente lo mismo. Ambos valores demuestran un comportamiento diferente entre nuestros saltadores y la de los componentes de los grupos de referencia (IATO<sub>I</sub>: 86.6°, IATO<sub>I10</sub>: 86.8° vs. ILTO<sub>I</sub>: 96.7°; ILTO<sub>I10</sub>: 98.2°). En ambos casos la tendencia es terminar la batida sin sobrepasar la vertical en el plano sagital y algo "pasados" en el plano frontal. Los valores suelen ser algo mayores en los saltadores nacionales pero sin presentar diferencias estadísticamente significativas.

Los análisis nos muestran que cuanto mayor es el nivel del deportista, menor suele ser la inclinación del tronco hacia delante al final de la batida (Nacional: 89.3°; Internacional: 86.6°; Mejores: 86.8°), aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Tales comportamientos técnicos se asocian a los recorridos angulares que realiza el tronco en los dos planos. Mientras que en el plano frontal nuestros saltadores realizan un largo recorrido (Nacional: 21.5°; Internacional: 20.7°; Mejores: 22.2°), en el plano sagital el desplazamiento es marcadamente inferior (Nacional: 7.8°; Internacional: 11.6°; Mejores: 15.0°), pero con diferencias significativas de nuestra muestra con respecto a los mejores saltadores (p<0.02). Todo ello afecta de manera particular a los momentos angulares que genera el deportista durante la batida y va a condicionar las acciones que realice el deportista durante la fase de vuelo.

En los fotogramas siguientes se observan dos ejemplos de la muestra de saltadores españoles, en los que los recorridos que realiza el tronco en ambos planos son bastante cortos e inferiores a lo que habitualmente suelen realizar saltadores de un mayor nivel de rendimiento. A la izquierda del dibujo, vemos el recorrido que en el plano sagital realiza EA (4°), mientras que en el lado derecho se puede ver el recorrido que realiza GB (16°) en el plano frontal.

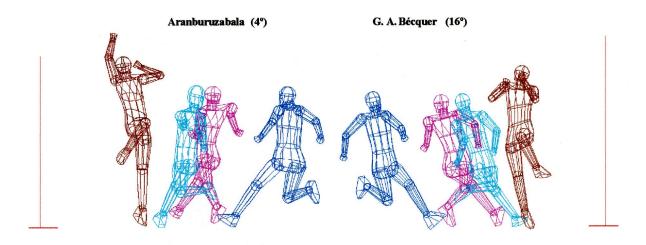


Fig. 35. Ejemplo de dos saltadores con corto recorrido del cuerpo en los planos sagital y frontal.

El caso de EA, saltador que entra adelantado y precipita la batida o el caso de GB, se observa que sin entrar excesivamente inclinado hacia el interior de la curva, despega inmediatamente después de verticalizar. En el caso del primer saltador nos encontramos ante un error técnico, mientras que en el caso del segundo saltador estamos ante una ejecución correcta de la batida que le permite, en este salto, una correcta transferencia de energía entre el principio y final de la batida (de la energía cinética del comienzo a la energía potencial de salida).

# Inclinación del cuerpo del saltador al inicio de la batida (mujeres)

Recordamos que las diferentes metodologías que los autores utilizan para determinar el valor de este parámetro, aunque los datos de referencia fueron transformados y adaptados, reseñamos que aquellos que parten de ejes que afectan al tronco están haciendo referencia a un compendio que afectan a múltiples articulaciones intervertebrales que le confieren una importante movilidad en el plano frontal, algo que no ocurre con aquellos protocolos en el que uno de los ejes de referencia va hacia el miembro inferior.

Las siglas son ILTD: inclinación en el plano frontal en el momento de iniciar la batida; ILTO: inclinación en el plano frontal en el momento de finalizar la batida; IATD: inclinación en el plano sagital en el momento de iniciar la batida; IATO: inclinación en el plano sagital en el momento de finalizar la batida.

Atleta	IATD (°)	IATO (°)	IATD-IATO	ILTD (°)	ILTO (°)	ILTD-ILTO
Marta Mendía	81°	100°	19°	91°	101°	10°
Carlota Castrejana	90°	96°	6°	75°	78°	3°
Mª Mar Martínez	81°	94°	13°	73°	102°	29°
Ainara Mondina	89°	85°	-4°	_72°	98°	26°
Cristina Teixeira	92°	104°	12°	81°	110°	29°
Victoria Fernández	76°	95°	19°	89°	107°	18°
Agustina Manresa	89°	95°	6°	80°	107°	27°
Media Nacional (10)	854 °	95. 6 °	10. 1°	80. 1°	100, 4 °	20. 3 °
DT	6.5°	6.0°	5.9°	8.2°	7.5°	10.7°
Media Internacional (44)	77.9°	87.9°	10. 0 °	81. 4°	94. 8°	15. 5 °
DT	3.6°	4.7°	5.0°	7.6°	6.1°	6.8°
Media Mejores (10)	77.8°	86. 8°	9.1°	80.0°	92. 6°	12. 6 °
DT	2.6°	2.90	3.8°	4.8°	6.6°	6.7°
S. Kostadinova	73°	88°	15°	_71 <sup>∞</sup>	81°	10°
T. Bikova	77°	88°	11°	84°	84°	0°
L. Ritter	80°	87°	7°	82°	92°	10°
S. Costa	81°	83°	2°	83°	88°	5°
H. Henkel	81°	90°	10°	_75°	98°	23°
S. Beyer	78°	87°	90	77°	92°	15°
T. Waller	80°	89°	90	84°	95°	11°_
A. Astefei	78°	83°	5°	85°	102°	17°
E. Draguieva	76°	82°	6°	80°	90°	10°
I. Quintero	74°	91°	1 <b>7</b> °	79°	104°	25°

Tabla – 13. Inclinaciones de las muestras femeninas.

En este grupo (mujeres), las saltadoras de mayor nivel (muestra internacional) también tratan de llegar a la batida con una marcada inclinación del tronco en los planos frontal y sagital. Comparados con los hombres, estas atletas logran parecidas posiciones en el plano frontal (H<sub>M10</sub>: 76,2; M<sub>M10</sub>: 80.0), aunque con diferencias estadísticamente notables (p<0.04). No ocurre lo mismo en el otro plano (sagital) donde las diferencias son mayores (H<sub>M10</sub>: 74°; M<sub>M10</sub>: 77.8°) (p<0.02).

También encontramos diferencias a tener en cuenta (p<0.000) en los recorridos realizados en el plano frontal cuando comparamos el grupo experimental (muestra nacional) y los grupos de referencia formados por saltadoras de nivel internacional.

Nuestras atletas entran a la batida con una inclinación lateral similar a las de las atletas de referencia (Nacional:  $80.1^{\circ} \pm 8.2^{\circ}$ ; Internacional:  $81.4^{\circ} \pm 7.6$ ; Mejores:  $80.0^{\circ} \pm 4.8$ ), pero terminan haciendo un recorrido muy grande en ese plano (Nacional:  $20.3^{\circ} \pm 10.7^{\circ}$ ; Internacional:  $15.5^{\circ} \pm 6.8$ ; Mejores:  $12.6^{\circ} \pm 6.7$ ).

Al final de la batida es donde se pueden observar diferencias sustanciales. Las saltadoras más cualificadas tienden a despegar con el tronco prácticamente vertical, mientras que nuestras atletas lo hacen bastante con el cuerpo claramente inclinadas hacia el listón y hacia delante. Esto significa que, por lo general, estas saltadoras, pese al corto tiempo de que disponen durante la batida y la baja velocidad con la que entran, son incapaces de controlar los desplazamientos de su cuerpo provocando una fuerte inclinación hacia la colchoneta y un vuelo del C.M. dirigido hacia el listón y no hacia la vertical. Esto se comprueba al observar la velocidad horizontal al inicio de la batida, es decir en el momento de transformación vertical, donde las saltadoras nacionales tienen unos valores superiores a las de los grupos de referencia, pese a que en el apoyo anterior las velocidades eran claramente inferiores (p<0.000). Todo ello repercutirá negativamente en la capacidad de conseguir energía que transmitir a la proyección vertical del C.M. al final de la batida.

Entrar adelantados y despegar más allá de la vertical hace que la batida sea produzca una batida "pasada", es decir batidas en las que los saltadores no son capaces de aprovechar las acciones de empuje que toda batida requiere. Un ejemplo lo encontramos en la saltadora C. T. quien entra con unas aceptable inclinaciones hacia el interior de la curva (plano frontal), demasiado adelantada (plano sagital), y luego despega con el cuerpo demasiado inclinado hacia delante y hacia el listón.

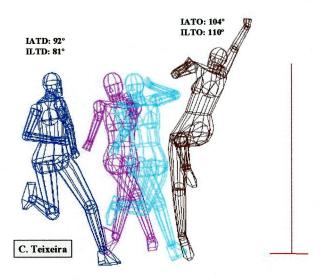


Fig. 36. Fotograma de un ejemplo de salto con inclinaciones poco favorables en los dos planos.

Un caso diferente lo encontramos en C.C. Esta saltadora entra muy adelantada pero con buena inclinación lateral, para luego hacer un despegue sin terminar, en ambos planos, ni realizar todo el desplazamiento que se pudiera desear (solo 3 ° en el plano frontal y 6° en el salgital).

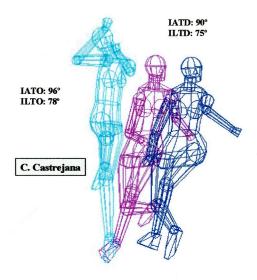


Fig. 37. Fotograma de un ejemplo de salto con poca traslación en los dos planos.

### Contribución de los segmentos libres en la batida

Recordemos que la velocidad y trayectoria que realicen los brazos y la pierna libre durante la batida contribuyen de forma sustancial durante la batida, tanto para incrementar la fuerza de deformación durante la fase de amortiguación, como para ayudar la acción de extensión de la pierna de impulso o para arrastrar al cuerpo durante la impulsión.

	BPL (m/s)	BPB (m/s)	Suma	PL (m/s)	Total
Ortiz	2.5	5.1	7.6	1.8	9.4
Pérez	3.7	4.6	8.3	3.3	11.6
Bécker	2.7	4.9	7.6	1.2	8.8
Badolato	4.0	4.3	8.3	2.5	10.8
Pagés	3.3	4.9	8.2	1.7	9.9
Peña	3.5	5.1	8.6	2.2	10.8
Rofes	4.9	5.9	10.8	3.0	13.8
González	6.5	5.5	12.0	2.6	14.6
Arazamburu	3.4	4.3	7.7	2.3	10.0
Lozano	3.3	5.4	8.7	2.0	10.7
Nacional (10)	3. 78	5. 00	8. 78	2. 26	11. 04
DT	1.16	0.52	1.46	0.63	1.85
Internacional (63 y 30)	4. 49	7. 65	12. 16	13. 11	27. 23
DT	2.5	2.,6	4.8	9.1	12.2
Mejores (10)	6. 89	9. 79	16. 68	13. 46	30. 13
DT	3.32	3.84	6.79	8.15	13.10
Austin	6.5	8	14.5	16.4	30.8
Stones	1.6	6.4	8.0	10.1	18.1
Leeper	8.2	5.7	13.9	6.5	20.4
Smith	4.8	6.4	11.2	18.4	29.6
Conway	7.1	12.3	19.4	20.4	39.8
Fields	5.9	8.7	14.6	2.2	16.8
Holder	11.6	14.4	26.0	12.6	38.6
Jenkins	5.8	10.4	16.2	19.4	35.6
Page	4.6	8.2	12.8	2.2	15.0
Barton	12. 8	17. 4	30. 2	26.4	56. 6

Tabla - 14. Contribución de los segmentos libres en las muestras masculinas.

En la tabla anterior se reflejan los datos correspondientes a la contribución de los segmentos libres en la batida (hombres). Las siglas se explican a continuación: BPL: Brazo del lado de la pierna libre; BPB: Brazo del lado de la pierna de batida; PL: Pierna libre; PB: Pierna de batida; T: Tronco.

En la siguiente tabla se muestran los mismos parámetros antes mencionados, pero en esta ocasión haciendo referencia a la muestra femenina.

Atleta	BPL (m/s)	BPB (m/s)	Suma	PL (m/s)	Total
Marta Mendía	1.2	3.5	4.7	1.7	6.4
Carlota Castrejana	3.3	3.4	6.7	1.8	8.5
M <sup>a</sup> Mar Martínez	1.5	4.5	6	2.3	8.3
Ainara Mondina	1.4	3	4.4	2.0	6.4
Cristina Teixeira	2.8	3.7	6.5	2.2	8.7
Victoria Fernández	1.5	3.9	5.4	1.9	7.3
Agustina Manresa	4.1	3.7	7.8	2.4	8.2
Nacional (7)	2. 26	3. 67	5. 93	2. 04	7. 69
DT	1.14	0.46	1.19	0.26	0.98
Internacional (58 y 19)	2. 28	5, 81	8. 03	14. 62	24. 62
DT	1.77	2.23	3.20	7.17	8.48
Mejores (10)	2. 06	7. 73	9. 48	1. 75	11. 25
DT	2.03	1.97	3.27	0.30	3.20
Waller	2.7	6.1	8.8	1.82	10.6
Acuff	1.2	8.2	9.4	1.35	10.8
Jenking	0.4	6.6	7.1	1.65	8.8
Wentland	6.7	10.2	16.9	1.65	1.6
Bradburn	2.1	10.3	12.4	2.12	14.5
Teaberry	1.5	9.1	10.5	1.47	12.0
Aldrich	1.9	5.1	6.9	1.81	25.0
Spangler	-0.6	9.6	6.0	2.24	8.2
Blunston	3.80	6.10	9.90	1.40	11.3
Henry	0.9	6.0	6.9	2.01	8.9

Tabla - 15. Contribución de los segmentos libres en las muestras femeninas.

La importancia de esta acción es mayor conforme aumenta el nivel del deportista, aunque habitualmente los varones mueven estos segmentos de forma más dinámica que las mujeres. Tales diferencias entre sexos sólo son estadísticamente significativas (p<0.000) cuando el nivel de los deportistas baja, pero mostrando una tendencia clara a disminuir cuando el rendimiento de los deportistas sube. Cuando comparamos los grupos de atletas del mismo sexo observamos que la diferencia es muy importante entre los de nivel internacional y los de la muestra nacional (Hombres: p<0.004; Mujeres: p<0.000). En la tabla siguiente, la correspondiente a los valores de las mujeres:

En este diagrama de barras aparece la contribución de los segmentos libres en la batida en los seis grupos en que organizamos nuestra muestra. Las siglas corresponden a NM: Hombres españoles; NF: Mujeres españolas; IM: Hombres de nivel internacional; IF: Mujeres de nivel internacional; MM: Diez mejores hombres; MF: Diez mejores mujeres.

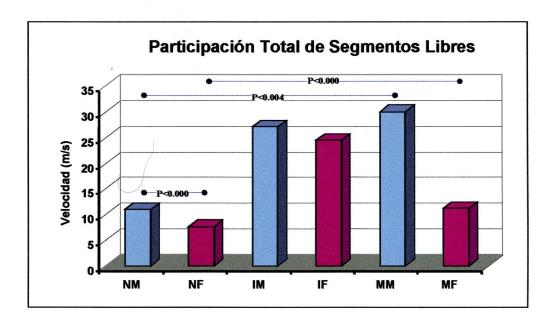


Fig. 38. Contribución de los segmentos libres.

### Implicación de los brazos en la batida

Los brazos se suelen utilizar de formas diferentes durante la realización de un salto de altura con estilo *fosbury flop*, aunque siempre deben hacer una acción enérgica de balanceo hacia adelante y hacia arriba durante la batida, bien de forma simultánea, o bien de forma alternativa, similar a como ocurre en la carrera o en cualquiera de sus variantes,

Entre los saltadores/as utilizados en nuestra muestra predomina la acción simultánea de los dos brazos. De esta forma, los diez varones y tres mujeres utilizaron esta técnica, mientras que otras tres mujeres emplearon el trabajo alternativo de brazos y sólo una empleó la que se denomina técnica de contrabalanceo.

Durante la primera fase de balanceo, los brazos contribuyen a la presión que el cuerpo ejerce sobre el pie de batida aumentando la fuerza de deformación, tanto más, cuanto más retrasados estén en el momento de iniciarse y más enérgicamente se muevan hacia delante-arriba con la articulación del codo casi extendida.

Dapena<sup>125</sup> señala que existen diferentes formas de evaluar la efectividad de la acción de los brazos durante la fase de impulso, aunque todos ellos responden a métodos indirectos de control. En nuestro trabajo decidimos seguir la segunda propuesta de este autor, que son: a) calcular la máxima fuerza vertical ejercida por cada uno de ellos, b) la velocidad máxima vertical de cada brazo, en relación con el tronco, durante la ejecución de la batida que denomina actividad de los brazos (m/sg).

Motta<sup>126</sup> señala que la actividad (velocidad) con la que se mueven los brazos durante la batida, nos da una idea del tipo de batida que utiliza el saltador, de forma que aquellos que mueven más intensa y ampliamente los brazos son los que hacen batidas de fuerza. De los dos brazos, normalmente es el más alejado al listón (lado de la pierna

Motta, O., "La tecnica del fosbury", Atletica Studi, Scienza & Tecnica, vol. 24, núm. 5, 1993, pp. 297-313.

Dapena, J., "Biomechanical analysis of the Fosbury flop. Part I", art cit., p. 3313. Véase del mismo autor et alii, High Jump (men), art. cit., 1993, pp. 13-14.

de batida) el que genera mayor actividad, lo que no siempre ocurre de forma clara entre los saltadores de nuestra muestra.

En el siguiente diagrama se observa la contribución de los brazos en la batida en los seis grupos en que organizamos nuestra muestra. Las siglas NM: Hombres españoles; NF: Mujeres españolas; IM: Hombres de nivel internacional; IF: Mujeres de nivel internacional; MM: Diez mejores hombres; MF: Diez mejores mujeres.

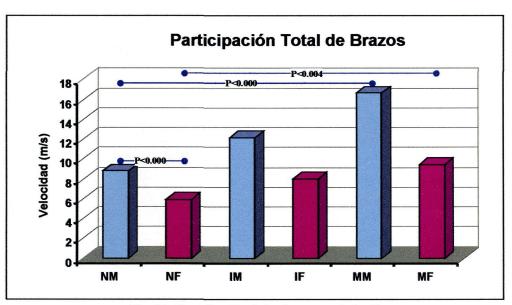


Fig. 39. Contribución de los brazos en la batida.

Se observa como, también en este caso, la acción de los brazos en los hombres es mucho más dinámica que en las mujeres con independencia de su nivel (Mejores:  $16.68 \pm 6.79 \text{ m.s}^{-1} \text{ vs. } 9.48 \pm 3.27 \text{ m.s}^{-1}, \text{ p}<0.000$ ; Nacionales:  $8.78 \pm 1.46 \text{ vs. } 5.93 \pm 1.19 \text{ m.s}^{-1}, \text{ p}<0.000$ ). En cada sexo la diferente intensidad con la que actúan los brazos en la batida, aumenta de forma significativa con el nivel de rendimiento, especialmente entre los varones (Mujeres:  $(M_{10}) 9.48 \pm 3.27 \text{ m.s}^{-1} \text{ vs. } (N) 5.93 \pm 1.19 \text{ m.s}^{-1}, \text{ p}<0.002$ ; Hombres:  $(M_{10}): 16.68 \pm 6.79 \text{ m.s}^{-1} \text{ vs. } 8.78 \pm 1.46 \text{ m.s}^{-1}, \text{ p}<0.000$ ).

La contribución de cada brazo no es igual durante la batida. Lo habitual es que el brazo contrario a la pierna de batida que se encuentra más cercano al listón intervenga de forma mas intensa en esta acción (p<0,000). En el diagrama siguiente presentamos la velocidad con la que se desplazan los brazos durante la batida en 47 atletas que componen cada uno de los cuatro grupos en la que organizamos la muestra: NM,

Hombres españoles (amarillos); NF: Mujeres españolas (azul); IM: Hombres de nivel internacional (rojo); IF: Mujeres de nivel internacional (verde).

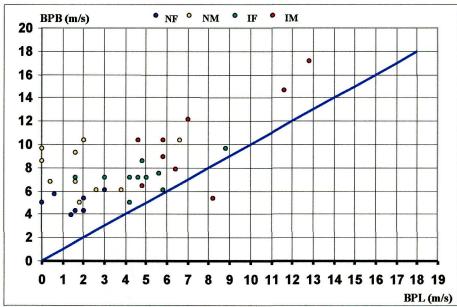


Fig. 40. Participación de los brazos (brazo cercano: BLP; brazo alejado: BPB).

Vemos en la gráfica como los mejores están por encima de la línea diagonal, lo que supone un predominio de la actividad del brazo de la pierna de batida sobre la del segmento opuesto más próximo al listón. Los deportistas que mejor utilizan los brazos deberían estar situados en la parte más alta de la diagonal, tal y como ocurre con los atletas analizados, donde observamos que los hombres y las mujeres de la muestra de referencia (internacional) se encuentran en la parte más alta y a la derecha, mientras que el grupo de deportistas del grupo experimental se encuentran en la parte más baja y a la izquierda.

#### Contribución de la pierna libre durante la batida

La velocidad angular con la que oscila la pierna libre durante la batida con eje de giro en la articulación de la cadera depende del tipo de técnica que utilice el saltador. Aquellos que hacen batidas de fuerza con poco ángulo de flexión en la articulación de la rodilla presentarán velocidades angulares bajas, mientras que, por el contrario, aquellos que hacen batidas de velocidad con mucha flexión de la rodilla mostrarán mayores velocidades angulares en su pierna libre. También el tiempo de duración de esta fase del

salto condicionará la velocidad con la que el saltador tenga que mover la pierna si quiere favorecer el impulso. De esta forma cuanto más corto sea el tiempo de la batida, como ocurre con los saltadores españoles y especialmente con las mujeres, más alta debería ser la velocidad con la que se mueve este segmento corporal, situación que no se manifiesta.

En este diagrama de barras estudiamos la contribución de la pierna libre en la batida en los seis grupos en que organizamos nuestra muestra: NM, Hombres españoles; NF: Mujeres españolas; IM: Hombres de nivel internacional; IF: Mujeres de nivel internacional; MM: Diez mejores hombres; MF: Diez mejores mujeres.

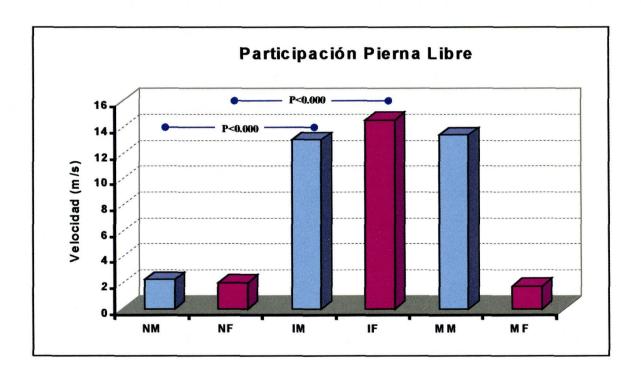


Fig. 41. Participación de la pierna libre.

Los datos nos muestran que la velocidad con la que mueven la pierna libre de los saltadores y saltadoras utilizadas en los grupos de referencia, es significativamente (p<0,000) más elevada que la que presentan los componentes de los grupos experimentales (nacionales masculinos y femeninos). Sin embargo, no existen diferencias estadísticamente importantes entre los saltadores y las saltadoras

internacionales (H:  $13.11 \pm 9.10 \text{ m.s}^{-1}$ ; M:  $14.62 \pm 7.17 \text{ m.s}^{-1}$ ), ni entre los saltadores y las saltadoras nacionales (H:  $2.26 \pm 0.63 \text{ m.s}^{-1}$ ; M:  $2.04 \pm 0.26 \text{ m.s}^{-1}$ ).

#### CONCLUSIONES

Del análisis de las variables y de los datos extraídos que actúan de forma más relevantes durante la batida, se perciben las diferencias existentes entre los saltadores investigados (hombres y mujeres nacionales), cuando los comparamos con aquellos otros que tienen un nivel de rendimiento que les permite estar entre la élite de la disciplina estudiada.

En primer lugar, destacar que la forma en abordar y ejecutar la batida difiere ligeramente en función del sexo del deportista con independencia del nivel de rendimiento. Estas variaciones posiblemente tengan como causa principal los niveles de condición física que normalmente caracteriza a ambos géneros.

En conclusión, a partir de los datos obtenidos en nuestro estudio podemos señalar que las diferencias de nuestros/as saltadores/as con respecto a los/as de nivel internacional, tienen su origen en la posición con la que llega el cuerpo a la batida y a las acciones que realiza el saltador durante esta fase del salto. Muchas de ellas se traducen en un menor descenso del C.M. al iniciar el último contacto con el suelo y, en consecuencia, en la menor posibilidad de generar fuerza durante el impulso.

Los segmentos libres, brazos y pierna contraria a la batida como partes contribuyentes en la batida, actúan de forma menos enérgica en la muestra experimental en relación a los grupos de referencia con mejor nivel de rendimiento.

#### Velocidad del C.M. durante la batida

Ya señalamos en capítulos anteriores que uno de los principales objetivos del entrenamiento moderno en salto de altura es incrementar la velocidad con la que los deportistas entran a la batida. De esta forma, un saltador suficientemente fuerte podrá incrementar la velocidad de despegue. Sin embargo, esto no siempre se produce de forma directa, ya que cada atleta tiene un límite máximo de velocidad de entrada con el

que optimizar la batida. Dapena et alii <sup>127</sup> muestran en el gráfico siguiente la relación teórica existente entre la velocidad horizontal del C.M. al final de la carrera de aproximación (V<sub>HO</sub>) y la componente vertical en el momento de iniciar el despegue (V<sub>ZI</sub>), en tres saltadores (A-B-C) en los que los que la altura inicial del C.M. y la participación de los brazos en la batida no fueron tenidos en cuenta.

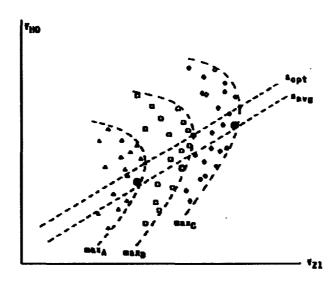


Fig. 42. Relación teórica entre V<sub>HO</sub> y V<sub>ZI</sub> en tres saltadores de diferente rendimiento.

La relación curvilínea demuestra que un aumento de velocidad en la carrera se traduce en un mayor valor de la componente vertical de la velocidad del C.M. en el despegue. Pero sobrepasado un valor que es diferente para cada deportista, el resultado es un empeoramiento de este segundo parámetro (V<sub>ZI</sub> en TO). La velocidad teórica que se observa en cada atleta del estudio, representada por la zona existente entre las líneas Sopt (línea de velocidad óptima de carrera) y Savg (línea de regresión de predicción), responde a los niveles técnicos de los atletas en relación con su máximo valor potencial.

Una de las claves de un salto eficaz consiste en ser capaz de disminuir durante la batida el componente horizontal de la velocidad que trae el C. M. después de la carrera de aproximación, incrementando, paralelamente, la componente vertical durante el

Dapena, J., C. McDonald y J. Cappaert, "A regression análisis of high jumping technique", Internacional Journal of Sport Biomechanics, 1990, vol. 6, núm. 3, p.255.

mismo período de tiempo. Dapena<sup>128</sup> señala que si un saltador no desarrolla una elevada velocidad horizontal durante la carrera, a la vez que es capaz de perder una considerable proporción de la misma durante la batida, estaremos en condiciones de afirmar que ese saltador no está utilizando adecuadamente la carrera para conseguir mayores alturas. Entre saltadores experimentados es usual que la componente horizontal disminuya entre 3-4 m.s<sup>-1</sup>, mientras que la componente vertical aumenta su valor alcanzando una velocidad que oscila entre 4.0 y 4.5 m.s<sup>-1</sup> al final del impulso.

Dicho esto, se comprende que una de las claves para conseguir un salto eficaz pasa por poder conseguir, al final de la impulsión, una elevada componente vertical en la velocidad de proyección del C.M. Tancic<sup>129</sup> señala que "la velocidad vertical de despegue viene determinada por el impulso vertical, la velocidad vertical del C.M. en el momento del primer contacto con el suelo en la fase de batida y de la masa corporal del atleta". El impulso vertical puede ser influenciado a través de una trayectoria de aceleración vertical resultante, de la duración de la batida y de la carrera. Este será el objetivo hacia el que se orienten todos los esfuerzos de los técnicos y deportistas que quieran mejorar su rendimiento en esta especialidad. Müller<sup>130</sup> apunta que incrementos de 0'1 m·s<sup>-1</sup> en la velocidad vertical se corresponden, según el valor inicial de dicha velocidad, con mejoras de 4-6 centímetros en la altura que alcanza el centro de gravedad durante la fase de vuelo,

Esta aseveración no se cumple en el caso de los datos utilizados en nuestro estudio. Así, por ejemplo, los saltadores masculinos, de la muestra nacional, presentan componentes verticales de 0.65-0.70 m.s<sup>-1</sup>, respecto a saltadores de nivel internacional, para diferencias entre 15-20 centímetros en la altura de salto. Algo similar ocurre en la categoría femenina, donde diferencias de 0.80-0.90 m.s<sup>-1</sup> en la componente vertical, se traducen en contrastes de 25-30 centímetros menos de altura sobrepasada.

De todo ello, se desprende que la componente vertical de la velocidad del C.M. al final de la batida, siendo la variable más importante, no es la única para explicar el

Dapena, J., R.M. Angulo-Kinzler, J.M., Caubet, C. Turró, X. Balius, S.B. Kinzler, J. Escoda, J.A. Prat, Track and Field: High Jump (Men), 1993, p.16. [Se trata de un informe encargado por el Comité Olímpico Internacional, a propósito de los Juegos Olímpicos de 1992, celebrados en Barcelona.]
 Tancic, D., "Biomecánica de la técnica moderna de salto de altura", art. cit., p. 28.

rendimiento final de un salto, al menos en las poblaciones estudiadas en este trabajo. Entre los diferentes parámetros a considerar, el ángulo de proyección del C.M. y las acciones técnicas efectuadas durante el franqueo del listón serán dos de los aspectos más relevantes que afecten a la altura de la parábola que realice el saltador durante la fase de vuelo y la altura del listón que sea capaz de sobrepasar. Donde:  $H_{\text{final}}$  es la altura máxima de vuelo;  $V_R$  ó Vo es la velocidad con la que sale proyectado el C.M.; Vv: es la componente vertical del C.M. al final de la batida; Vh: es la componente horizontal del C.M. al final de la batida.

$$[H_{final} = H_2 + (V_R^2 * sen^2 \alpha/2g)]$$
.

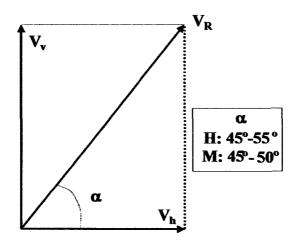


Fig. 43. Velocidad horizontal y vertical y la resultante.

## Comportamiento de la velocidad del C.M. durante la batida en la muestra masculina

Para analizar el comportamiento de la variable velocidad, durante la ejecución de la batida, organizaremos el apartado en tres partes que hacen referencia al comportamiento de la componente horizontal al principio y final de la batida; al comportamiento de la componente vertical al principio y final de la batida; y a la velocidad con que sale proyectado el C.M. al inicio de la fase de vuelo.

<sup>&</sup>lt;sup>130</sup> Müller, A.F., "Biomechanik des Hochspungs", opus cit., p.56.

### La velocidad horizontal del C.M. durante la batida en la muestra masculina

En los saltadores nacionales estudiados, vemos que la pérdida media de velocidad horizontal es excesivamente pequeña (-2,82 ± 0,76 m·s<sup>-1</sup>) si la comparamos con los grupos de referencia (-3,54 ± 0,37 m,s<sup>-1</sup> y -3,81 ± 0,50 m,s<sup>-1</sup>), con una clara tendencia a disminuir esta pérdida conforme disminuye la altura que logra saltar el deportista, Es necesario entender que, en ocasiones, un aumento exagerado de la velocidad de entrada a la batida se traduce en pérdidas más importantes de la velocidad en la batida. Este comportamiento técnico, por el que el saltador modifica los componentes vertical y horizontal de la velocidad del C.M. es una de las acciones más complejas del salto de altura.

Esto nos demuestra la importancia que tiene esta variable para conocer el dominio técnico que tiene el deportista de esta modalidad deportiva, No respetar este mecanismo provoca un movimiento demasiado rápido del cuerpo, en los planos sagital y frontal, a lo largo de la batida, Las pérdidas en la componente horizontal de la velocidad dependen, en cierta medida, de la velocidad con la que entran a la batida, ya que la magnitud de la componente horizontal de la misma, en el momento que la pierna de batida entra en contacto con el suelo, es relativamente constante e individual, oscilando en valores de aproximadamente 0.1 m.s<sup>-1</sup>.

Normalmente la magnitud de esta variable aumenta, en el transcurso de la batida, hasta alcanzar valores que oscilan, en deportistas experimentados, entre 3.5-4.0 m.s<sup>-1</sup> al final de la impulsión.

El valor de este parámetro (Vh) cuando se inicia la fase de vuelo, determinará la profundidad de la parábola de vuelo. De esta forma, aquellos saltadores que presentan valores bajos realizarán una parábola de vuelo corta, con independencia de la altura de la misma, mientras que aquellos otros saltadores que inicien el vuelo con componentes horizontales altos presentarán parábolas de vuelo larga (gran distancia entre el punto de inicio del vuelo y el punto de caída). Un ejemplo claro de este último comportamiento los podemos ver en el salto de Rofes (Vh: 5.9 m.s<sup>-1</sup>). Como consecuencia de esa elevada velocidad horizontal al final de la impulsión, el saltador sale proyectado con un ángulo

más bajo ( $\alpha = 34^{\circ}$ ) del que sería deseable ( $\alpha = 45^{\circ}-55^{\circ}$ ), pese a que la distancia del punto de batida no es excesivamente elevada (1.08 metros) para la altura del listón a la que corresponde el salto analizado.

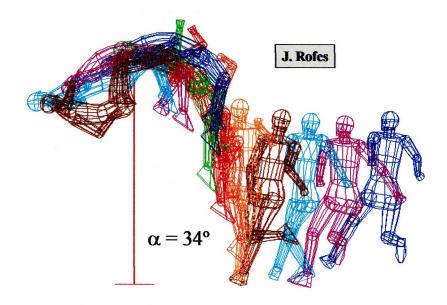


Fig. 44. Secuencia del salto analizado a J. Rofes

En la tabla que sigue estudiamos las velocidades horizontales y velocidades verticales al inicio y al final de la batida. La identificación de las siglas se explica a continuación: VhTD: Velocidad horizontal al inicio de la batida; VhTD: Velocidad horizontal al final de la batida; VzTD: Velocidad vertical al inicio de la batida y VzTO: Velocidad vertical al final de la batida.

Atleta	Vh (TD)	Vh (TO)	ΔVh	Vz (TD)	Vz (TO)	ΔVz
A. Ortiz	7.2	4.1	-3.1	-0.3	4.3	4.6
I. Pérez	7.1	4.0	-3.1	-0.2	4.1	4.3
G. Bécquer	7.6	4.1	-3.5	-0.5	4.5	5.0
A. Badolato	6.8	3.6	-3.2	-0.2	4.1	4.3
M. Pagés	6.4	3.6	-2.8	-0.3	4.0	4.3
C. Pena	6.8	3.8	-3.1	-0.5	4.0	4.5
J. Rofes	6.8	5.9	-0.9	-0.2	3.7	3.9
R. Lozano	7.2	3.8	-3.4	-0.7	3.9	4.6
O. González	6.4	3.7	-2.8	-0.1	4.0	4.1
E. Aramburuzabala	6.2	3.9	-2.3	-0.9	3.6	4.5
Media Nacional (10)	6. 85	4. 05	-2, 82	-0. 39	4. 01	4. 40
DT	0.44	0.68	0.76	0.26	0.26	0.36
Media Internacional (44)	7. 39	3. 86	-3. 54	-0. 39	4. 40	4. 79
DT	0.38	0.41	0.37	0.29	0.21	0.35
Media Mejores (10)	7. 52	3.73	-3, 81	-0. 41	4. 66	5. 07
DT	0.44	0.40	0.50	0.24	0.16	0.36
G. Avdeyenko	7.80	3.20	-4.62	-0.40	4.58	4.98
D. Mögenburg	8.00	4.30	-3.69	0.00	4.64	4.64
L. Paklin	6.90	3.30	-3.61	-0.37	4.60	4.97
P. Sjöeberg	7.20	3.60	-3.55	-0.39	4.78	5.17
K. Sotomayor	8.04	4.00	-3.90	-0.79	4.74	5.53
S. Matei	7.80	4.10	-3.70	-0.20	4.50	4.70
T. Forsyth	6.94		<b></b>	-0.19	4.45	4.64
A. Partyka	7.39	4.10	-3.10	-0.54	4.56	5.10
C. Austin	7.90	3.40	-4.60	-0.50	4.80	5.30
H. Conway	7.20	3.60	-3.50	-0.70	5.00	5.70

Tabla – 16. Datos biomecánicos sobre las velocidad horizontal y vertical al inicio/final de batida.

# La velocidad vertical del C.M. durante la batida en la muestra masculina

La componente vertical del C.M al final de la batida es la que nos indica la fuerza con la que despega el C.M. en su orientación hacia el listón, y es lo que realmente marca las diferencias entre los grupos estudiados. Mientras los saltadores españoles sólo alcanzan promedios de  $4,01 \text{ m.s}^{-1}$ , los saltadores utilizados como grupos de control se acercan o superan los  $4,5 \text{ m.s}^{-1}$  ( $4,40 \pm 0,21 \text{ m.s}^{-1}$  y  $4,66 \pm 0,16 \text{ m.s}^{-1}$ ) (p<0,000).

Al mismo tiempo, en este punto (VzTD ó Vv al inicio de la batida), el deportista debe evitar que la componente vertical adquiera valores negativos demasiado elevados. Aquí también, los deportistas más experimentados logran este propósito, aunque la media nacional masculina presenta valores muy semejantes pese a la menor velocidad de entrada (N: -0,39 m.s<sup>-1</sup>; I: -0,39 m.s<sup>-1</sup>; M<sub>10</sub>: -0,41 m.s<sup>-1</sup>) de cada grupo de saltadores. En cualquier caso, en la bibliografía especializada existen datos contradictorios respecto a la magnitud que debe tener este parámetro. Dapena 131 propone valores que deben oscilar entre -0.1 y -0.3 m,s<sup>-1</sup>, lo que se acerca a los valores utilizados en nuestro estudio, pero Primakov et alii 132, señalan que depende de la forma en la que se utilicen los segmentos libres (brazos y, fundamentalmente, piernas), hablando de valores de 0.631 ± 0.134 m.s<sup>-1</sup> para aquellos saltadores que realizan la batida con la pierna libre flexionada, mientras que los valores llegan a 0.681 ± 0.134 m.s<sup>-1</sup> entre los saltadores que baten con la pierna libre más estirada. Los valores que inicialmente propuso Dapena, en el trabajo antes mencionado, tampoco se corresponden con los que él mismo obtiene en trabajos posteriores. Así, por ejemplo, durante el Campeonato del Mundo Indoor de Indianapolis, el mismo autor aporta valores promedio de -0.47 m.s<sup>-1</sup> en hombres y -0.50 m.s<sup>-1</sup> en muieres.

Estos últimos resultados están más en consonancia con los que nosotros encontramos en nuestro estudio donde se observaron valores de -0.39 m.s<sup>-1</sup>; -0.39 m.s<sup>-1</sup>; y -0.41 m.s<sup>-1</sup> para los hombres de categoría nacional, internacional y los mejores en los que organizamos nuestro universo de trabajo.

Sin embargo, entendemos que la importancia de este parámetro debe ser tratada con cierta moderación. Aceptamos el hecho de que, frecuentemente, la componente vertical del C.M. presenta valores negativos, y que la magnitud de este valor no puede ser excesivamente grande para evitar hundirnos en la batida. Pero no podemos ignorar que dentro de unos límites que podemos considerar óptimos, el planteamiento que sugiere que cuanto menor sea este valor negativo, mayor será la altura del salto no nos parece acertado. Al menos eso es lo que se desprende de nuestros datos. En ellos, este valor no presenta diferencias significativas con respecto a otros saltadores de mayor

<sup>&</sup>lt;sup>131</sup> Cfr. Primakov I.N., I.V. Lazarev, V.G. Konestiapin, "Salto de altura", art. cit., p. 14. <sup>132</sup> Ibidem. p. 14.

nivel que luego no se reflejan en la altura de salto. La magnitud de esta componente, además de por otros factores, está fuertemente afectada por la forma en que se realice el último apoyo de la carrera. Normalmente, cuanto más activo y próximo al suelo sea el penúltimo apoyo, menor será el valor negativo de la componente vertical del C.M. al inicio de la misma. Esto se traducirá en una menor pérdida de la cantidad de movimiento que el saltador utiliza durante la impulsión para evitar la ligera desaceleración que se produce al contactar en el suelo [Cantidad de Movimiento = Fuerza \* Tiempo (N.s)].

La velocidad final de la carrera de aproximación y el nivel técnico son otros dos aspectos que deberemos analizar llegados a este punto. La velocidad final de la carrera de casi todos los saltadores de nuestro grupo es relativamente lenta, lo que unido a que llegan con el C.M. demasiado alto y con el cuerpo poco retrasado, afecta muy negativamente a la eficacia del salto. Frente a los (I<sub>10</sub>) 7.52 ± 0.44 m.s<sup>-1</sup> y los (I) 7.39 ± 0.38 m.s<sup>-1</sup> con la que llegan los saltadores mejor cualificados, nuestros deportistas sólo logran entrar a una velocidad de (N) 6.85 ± 0.44 m.s<sup>-1</sup>, lo que representa una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos (p<0.003). Destacan las velocidades con las que entran saltadores del nivel de Sotomayor y Mögemburg con valores superiores a los 8.00 m.s<sup>-1</sup>. Lo que sí resulta un aspecto relevante es la capacidad de transformar el valor de la componente vertical del C.M. entre las fases de inicio y el final de la batida. En nuestro caso vemos que existen diferencias estadísticamente significativas (p<0.000) en esta magnitud de transformación de la componente horizontal entre la muestra masculina nacional y los saltadores de categoría internacional (4.40 ± 0.36 m.s<sup>-1</sup> vs. 5.07 ± 0.36 m.s<sup>-1</sup>).

#### La velocidad de proyección del C. M. al final de la batida en la muestra masculina

Ambos factores, antes mencionados, velocidad de entrada y transformación en componente vertical de la velocidad con la que se desplaza el C.M., son determinantes para conseguir una elevada velocidad vertical al final de la fase de impulso. En la tabla siguiente se muestran para, la muestra nacional y los ocho finalistas en el Campeonato del Mundo de Roma - 1987, los ángulos de proyección del C.M. al inicio del vuelo, la altura del listón, la altura máxima que alcanza el C.M. y la velocidad de despegue.

Atleta	α (°)	H <sub>máxima</sub> - CM (metros)	H- Listón (metros)	Velocidad C.M.Despegue
A. Ortiz	47°	2.35	2.26	5.95
I. Pérez	46°	2.29	2.21	5.73
G. Bécquer	46°	2.28	2.21	5.89
A. Badolato	47°	2.19	2.15	5.31
M. Pagés	48°	2.20	2.12	5.39
C. Pena	46°	2.20	2.12	5.42
J. Rofes	34°	2.19	2.08	7.11
R. Lozano	41°	2.17	2.04	5.49
O. González	43°	2.12	2.04	5.26
E. Aramburuzabala	42°	2.07	2.04	5.29
Media Nacional (10)	44. 00	2. 21	2. 13	5. 68
DT_	4.22	0.08	0.08	0.56
Media Mejores (10)	53. 63	2. 49	2.5	5, 84
DT	4.03	0.06	0.04	0.38
P. Sjöeberg	53°	2.54	2.38	6.00
I. Paklin	55°	2.53	2.38	5.65
G. Avdeenko	55°	2.50	2.38	5.58
D. Mögemburg	47°	2.52	2.38	6.32
N. Saunder	55°	2.38	2.32	5.70
J. Zvara	60°	2.54	2.32	5.20
S. Matei	55°	2.46	2.32	6.31
C. Thränhard	49°	2.45	2.29	5.93

Tabla – 17. Datos biomecánicos sobre ángulos y velocidad de despegue.

Ozolin y Voronkin<sup>133</sup> proponen que para aumentar la velocidad de salida del C.M., el deportista debe aumentar la velocidad de la carrera de aproximación, disminuir el tiempo de la batida e incrementar la velocidad del movimiento pendular de la pierna libre. Estas acciones se corresponden con los aspectos más característicos de los saltos que se encuadran dentro de lo que conocemos como batidas de velocidad. Ahora bien, existe un óptimo individual que responde a las capacidades condicionales y técnicas que posee el deportista (Dapena<sup>134</sup> et alii).

 <sup>133</sup> Ozolin, N. y V.I. Voronkin, opus cit.
 134 Dapena, J., "Mechanics of translation in the Fosbury-flop", art. cit. p. 41.

Calcular el valor de estos parámetros en cada deportista resulta ser una tarea complicada. Brüggeman y Arampatzis<sup>135</sup> proponen determinar la pérdida de energía que se produce durante la batida (energía cinética del saltador al inicio de la batida menos la energía que tiene al inicio del vuelo que representa el trabajo realizado para ejecutar el salto) permite determinar la velocidad óptima de aproximación a la batida, para que la pérdida de velocidad horizontal durante la misma sea la adecuada y, así, incrementar al máximo la componente vertical durante el despegue.

 $E_{cinética} = \frac{1}{2} masa * Velocidad^{2}$   $E_{potencial} = masa * aceleración de la gravedad (g) * altura del vuelo$ 

Atleta	Masa (kg)	V <sub>TD</sub> (m/s)	H máxima (m)	E <sub>cinética</sub> (J/kg)	E potencial (J/kg)	Diferencia (J/kg)
AO	73	7. 2	2. 35	25. 92	23. 05	2.87
IP	81	7. 1	2. 29	25.21	22. 46	2. 74
GB	71	7. 6	2. 28	28, 88	22. 37	6. 51
AB	68	6. 8	2. 19	23, 12	21. 48	1. 64
МР	73	6. 4	2. 20	20. 48	21. 58	-1. 10
СР	71	6. 8	2. 20	23. 12	21. 58	1. 54
JR	80	6. 8	2. 19	23. 12	21. 48	1. 64
RL	65	7. 2	2. 17	25. 92	21. 29	4. 63
OG	83	6. 4	2. 12	20, 48	20. 80	-0. 32
EA	80	6. 2	2. 07	19. 22	20. 31	-1. 09

Tabla -18. Datos biomecánicos sobre la energía cinética y potencial.

De la tabla anterior se puede deducir algunos comportamientos que explican, con bastante claridad, la relación existente entre la velocidad utilizada por el saltador durante la carrera de aproximación y su capacidad de generar energía ascensional durante la batida. GB entró, en el salto estudiado, a una velocidad excesiva, la cual

<sup>&</sup>lt;sup>135</sup> Cfr. Müller, H. y H. Hommel, "Biomechanical Research Project at the VI<sup>th</sup> World Championships in Athletics, Atenas 1997", *New Studies in Athletic*, Mónaco, vol.12, núm. 2-3, 1997, pp. 43-73.

impide desarrollar la fuerza necesaria para efectuar un salto eficaz. MP, EA y OG muestran una velocidad escasa al entrar a la batida. Sólo dos saltadores (AO e IP) demuestran una relación más adecuada entre la velocidad en la fase final de la carrera y la velocidad de despegue.

En nuestro estudio la manifestación de la velocidad con la que despega el C.M. con respecto a la pérdida de energía no se corresponde con lo que se pudiera considerar un comportamiento normal. A priori, cuando la pérdida de energía es muy pequeña (<2 J/kg) la velocidad de salida debe ser baja (<3.5 m.s<sup>-1</sup>), existiendo un óptimo teórico que se sitúa en pérdidas entre los 3-6 J/kg +/-0.5 J/kg que responden a elevadas velocidades del C.M. al final del impulso. Cuando se producen mayores pérdidas, éstas afectan negativamente a la velocidad de proyección del CM. Valores negativos de pérdida suponen realizar entradas muy lentas que no permiten aprovechar adecuadamente los objetivos que cumple una carrera de aproximación.

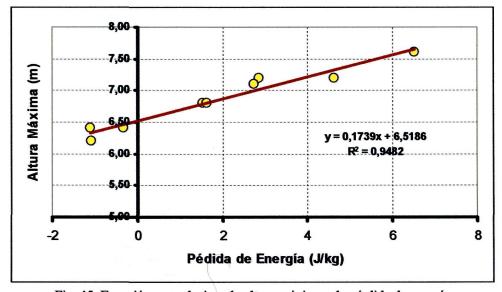


Fig. 45. Ecuación que relaciona la altura máxima y la pérdida de energía.

De los saltadores analizados en nuestro estudio sólo un saltador se aproxima a esos valores, supuestamente ideales para saltadores de alto nivel, de pérdida de energía durante la acción de empuje en la bâtida (RL). Sin embargo, la eficiencia de su salto no fue correcta. Este saltador entra con una velocidad excelente y la pérdida de velocidad es teóricamente buena, pero su ángulo de vuelo es bastante deficiente para saltadores de este tipo de saltador (41°). Una explicación de este comportamiento parece estar en la

excesiva flexión de la rodilla de la pierna de batida al final de la fase de amortiguación de la batida (129°). Otros dos saltadores que muestran un comportamiento aceptable son los dos primeros clasificados en la competición (Ortiz y Pérez), lo que supuestamente representa, para esta competición, un mejor dominio técnico de esta modalidad deportiva que el resto de saltadores.

Una mayor información la podemos conseguir utilizando lo que Arampatzis denomina índice de transformación, el cual se determina dividiendo el ángulo de despegue (α) por la pérdida de energía (diferencia entre energía cinética y energía potencial).

 $I_t = \alpha \ / \ D_e$  Donde  $I_t$  índice de transformación,  $\alpha$ : ángulo de proyección del CM;  $D_e$ : Diferencia de energía entre el inicio y el final de la batida

Atleta	α	De	I <sub>t</sub>
	(°)	(J/kg)	$(\alpha/D_e)$
AO	47	2. 87	16. 38
IP	46	2. 74	16. 79
GB	46	6. 51	7. 07
AB	47	1. 64	28. 66
MP	48	-1. 10	-43. 64
СР	46	1. 54	29. 87
JR	34	1. 64	20. 73
RL	41	4. 63	8. 86
OG	43	-0. 32	-134. 38
EA	42	-1. 09	-38. 53

Tabla – 19. Datos biomecánicos sobre el índice de transformación.

Entre deportistas experimentados, cuando la pérdida de energía aumenta el índice de transformación disminuye de manera exponencial (Arampatzis). Sin embargo, este comportamiento no lo pudimos observar entre los saltadores masculinos de nuestra muestra. En este caso responde a un ajuste polinómico que muestra elevada dispersidad.

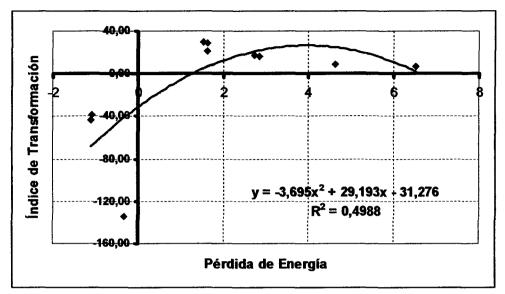


Fig. 46. Ecuación que relaciona el índice de trasformación y la pérdida de energía.

Esto nos podría señalar las importantes carencias técnicas que, de manera global, muestran nuestros saltadores, como grupo, y la poca consistencia que se produce en la dinámica de parámetros tan relevantes para la eficiencia de un salto de altura.

#### Comportamiento de la velocidad del C.M. durante la batida en la muestra femenina

En este caso seguiremos la misma estructura metodológica que la que utilizamos en la categoría masculina. Para ello dividiremos este apartado en tres partes que hacen referencia al comportamiento de la componente horizontal al principio y final de la batida; al comportamiento de la componente vertical al principio y final de la batida; y a la velocidad con que sale proyectado el C.M. al inicio de la fase de vuelo.

#### Comportamiento de la componente horizontal de la velocidad del C.M. durante la batida en la muestra femenina

Las mujeres entran a la batida con una velocidad menor que la que podemos encontrar entre saltadores varones (p<0.000), lo que condiciona la inclinación del cuerpo durante los últimos pasos de la carrera en curva y, además, la forma como se comporta el deportista durante la batida.

En el ámbito internacional, el objetivo que se persigue, en la categoría femenina, pasa por intentar alcanzar velocidades de aproximación superiores a los 6,7 m,s<sup>-1</sup> y, a ser posible, mayores a los 7,00 m,s<sup>-1</sup>. Esto se constata, de forma evidente, entre las mejores saltadoras (Bykova, Heinkel, Kostadinova, Quintero, etc,) mundiales de las que disponemos información. Esta menor velocidad de entrada de las saltadoras femeninas de categoría internacional, y la pérdida de velocidad en su componente horizontal que se produce durante la batida, alcanza un valor relativo (43.47% de la velocidad de entrada) menor que la que se puede observar entre los saltadores masculinos del mismo nivel de rendimiento (50.66% de la velocidad de entrada).

Este mismo comportamiento se observa al comparar las muestras nacionales de ambos sexos. Mientras que en las mujeres se observa una disminución de la componente vertical, al final de la batida, del 39.59 % de la velocidad de entrada, en los hombres este valor asciende al 41.17 %. No obstante, este valor sigue siendo ligeramente inferior al que presentan las mujeres de máximo nivel internacional.

A la luz de los datos, es lógico pensar que aunque la profundidad de la parábola de vuelo de los deportistas de máximo nivel no es muy diferente a la de los saltadores de menor categoría, ésta responde más a la necesidad de elevarse más alto dando un mayor recorrido total al C.M., que a la dificultad de encontrar una relación óptima de este componente con el que se mueve el C.M. en la batida.

En la tabla siguiente se estudian los valores promedios y las desviaciones típicas de las componentes horizontal y vertical de la velocidad del C.M. de las diferentes muestras femeninas (nacional, internacional y mejor).

Atleta	Vh (TD)	VhTO	Vh(PA-TO)	VzTD	VzTO	Vz(TD-TO)
Marta Mendía	6.3	3.9	-2.4	-0.2	3.6	3.8
Carlota Castrejana	7.3	4.0	-3.2	-0.1	3.8	3.9
Mª Mar Martínez	6.6	3.6	-2.9	-0.2	3.2	3.4
Ainara Mondina	6.0	39	-21	-0.2	3.4	3.6
Cristina Teixeira	6.2	4.0	-2.2	-0.4	3.1	3.5
Victoria Fernández	6.4	3.5	-3.0	-0.3	3.4	3.7
Agustina Manresa	5.9	4.0	-1.9	-0.6	3.2	3.8
Media Nacional (10)	6.39	3.84	-2.53	-0.29	3.39	3.67
DT	0.47	0.21	0.50	0.17	0.25	0.18
Media Internacional (44)	6.72	3.90	-2.84	-0.50	3.60	4.05
DT	0.39	0.34	0.31	0.22	0.21	0.38
Media Mejores (10)	7.04	3.97	-3.06	-0.67	3.84	4.51
DT	0.42	0.37	0.24	0.17	0.16	0.18
H. Henkel	7.20	4.40	-2.80	-0.60	3.70	4.30
S. Kostadinova	7.60	4.30	-3.20	-0.60	4.10	4.70
E. Draguieva	7.00	3.50	-3.50	-0.80	4.00	4.80
T. Waller	7.40	4.10	-3.30	-0.6	3.95	4.55
S. Beyer	7.10	3.80	-3.30	-0.40	3.85	4.25
I. Quintero	6.60	3.80	-2.80	-0.80	3.70	4.50
T. Bikova	6.40	3.30	-3.10	-0.80	3.90	4.70
L.Kositsina	7.60	4.30	-3.20	-0.60	4.10	4.70
A. Astefei	7.10	4.10	-3.00	-0.90	3.65	4.55
C. Sommer	7.10	4.40	-2.70	-0.60	3.70	4.30

Tabla. 20. Datos biomecánicos sobre las velocidades horizontales y verticales (mujeres).

### Comportamiento de la componente vertical de la velocidad del C. M. durante la batida en la muestra femenina

De los datos que muestra la tabla anterior se constata que las diferencias entre los distintos grupos (experimental y control) se deben a los mismos factores que previamente se detectaron entre los hombres. En definitiva, estamos hablando de menor velocidad (p<0.000) a la entrada de la batida (N:  $6.39 \pm 0.42$  m.s<sup>-1</sup>; I:  $6.72 \pm 0.04$  m.s<sup>-1</sup>; M:  $7.04 \pm 0.42$  m.s<sup>-1</sup>); menor componente vertical (VzTO  $\acute{o}$  Vv) (p<0.000) al final del impulso (N:  $3.39 \pm 0.18$  m,s<sup>-1</sup>; I:  $3.60 \pm 0.21$  m.s<sup>-1</sup>; M:  $3.84 \pm 0.18$  m.s<sup>-1</sup>). En la tabla siguiente, estudiamos los parámetros de velocidad y ángulo en el despegue, la altura del

listón y la altura máxima alcanzada por el centro de masas de las atletas, siendo los valores internacionales extraídos del las finalistas del Campeonato del Mundo de Roma-1987.

Atleta	α (°)	H máxima - CM (metros)	H - Listón (metros)	Velocidad Despegue
Marta Mendía	43	1.91	1.83	5.26
Carlota Castrejana	43	2.00	1.80	5.27
Ma Mar Martínez	49	1.83	1.74	4.89
Ainara Mondina	41	1.80	1.74	4.98
Cristina Teixeira	38	1.79	1.71	5.08
Victoria Fernández	42	1.75	1.67	4.67
Agustina Manresa	39	1.72	1.67	4.94
Media Nacional (10)	42. 14	1. 83	1. 74	5. 01
DT	3.58	0.10	0.06	0.21
Media Mejores (8)	54. 29	2. 36	2. 28	6. 36
DT	3.42	0.10	0.05	0.43
S. Kostadinova	49	2.19	2.09	5.88
T. Bykova	53	2.11	2.04	5.32
S. Beyer	42	2.08	2.02	6.08
S. Costa	46	2.15	2.02	6.08
L. Kositsina	47	1.94	1.96	5.05
H. Redetzky	46	2.03	1.96	5.62
S. Isseva	46	1.91	1.96	5.02
L. Ritter	51	2.08	1.93	5.46

Tabla - 21. Datos biomecánicos del ángulos y velocidad de despegue (mujeres).

En la siguiente gráfica se representa la relación existente entre la velocidad vertical al final de la batida y la altura de salto en dos de los grupos utilizados en la muestra (nacional y diez mejores saltos).

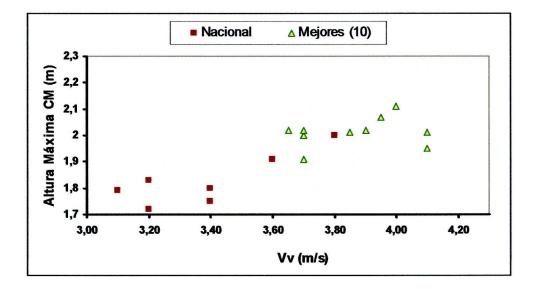


Fig. 47. Relación entre la altura máxima y la velocidad vertical.

Podemos observar que al aumentar el nivel de rendimiento la posición en la gráfica se sitúa más hacia arriba y hacia la derecha, ocurriendo lo contrario conforme disminuye la capacidad de salto. Este comportamiento es el que se podría esperar entre saltadores que tienen un mínimo de dominio de las acciones técnicas básicas de esta modalidad atlética.

## Comportamiento de la velocidad del C. M. al final de la batida en la muestra femenina

Lógicamente, este comportamiento unido a un ángulo de proyección del C.M. bajo (N: 42.14° ± 3.58 vs. I: 54.29° ± 3.42°) se manifiesta en la velocidad con la que sale proyectado el mismo al inicio de la fase de vuelo. Existen diferencias estadísticamente significativas (p<0.008) en las velocidades del C.M. al inicio del vuelo entre ambos grupos (5.04 m.s<sup>-1</sup> ± 0.21 m.s<sup>-1</sup> vs 6.36 m.s<sup>-1</sup> ± 0.21 m.s<sup>-1</sup>).

Vemos en la tabla siguiente como la energía cinética con la que entran todas ellas a la batida, excepto CC, es muy baja como consecuencia de la escasa velocidad con la que corren en la carrera de aproximación. Sin embargo, en el caso de CC se evidencia que la velocidad utilizada no responde a sus posibilidades técnicas y/o condicionales, ya que la pérdida de energía que se produce durante el impulso es excesiva, especialmente tratándose de una mujer. La energía potencial de esta saltadora

al final de la impulsión no se corresponde con la energía cinética de su cuerpo en el momento de iniciar la batida.

Atleta	Masa (kg)	V <sub>TD</sub> (m/s)	H máxima (m)	E cinética (J/kg)	E potencial (J/kg)	Diferencia (J/kg)
MM	59	5.26	1.91	19.85	18.74	1.11
CC	67	5.27	2.00	26.65	19.62	7.03
MMM	58	4.89	1.83	21.78	17.95	3.83
AMo	59	4.98	1.80	18.00	17.66	0.34
CT	65	5.08	1.79	19.22	17.56	1.66
VF	53	4.67	1.75	20.48	17.17	3.31
AMa	62	4.94	1.72	17.41	16.87	0.53

Tabla - 22. Datos biomecánicos de energía cinética y potencial (mujeres).

Tampoco en la muestra femenina, tal y como se puede ver en la gráfica siguiente, encontramos un comportamiento estable entre la pérdida de energía durante la batida (cinética – potencial) y la altura máxima alcanzada por el C.M. durante la fase de vuelo. Incluso su comportamiento es más irregular y diferente del que se podría esperar del análisis de estas variables. Esto, a nuestro entender, responde a las importantes deficiencias técnicas de las saltadoras que componen la muestra.

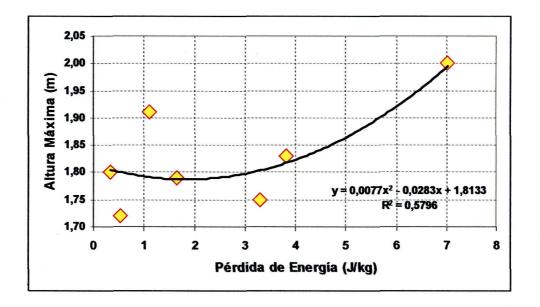


Fig. 48. Relación entre altura máxima y pérdida de energía (mujeres).

En la siguiente tabla se muestran el ángulo de proyección del C.M. al inicio del vuelo, la diferencia (D<sub>e</sub>) entre la energía cinética y la energía potencial y el índice de transformación de la energía.

Atleta	α	$\mathbf{D_e}$	$\mathbf{I_t}$
	(°)	(J/kg)	$(\alpha/D_e)$
MM	43	1.11	38.74
CC	43	7.03	6.12
MMM	49	3.83	12.79
AMo	41	0.34	120.59
СТ	38	1.66	22.89
VF	42	3.31	12.69
AMA	39	0.53	73.58

Tabla – 23. Datos biomecánicos sobre Índice de transformación (mujeres).

Cuando relacionamos la pérdida de energía con el índice de transformación (ver siguiente gráfica), sí podemos observar, en nuestra muestra, un comportamiento normal

entre dichas variables. Así, cuando la pérdida de energía es muy pequeña el índice de transformación aumenta, disminuyendo el mismo cuando la pérdida de energía aumenta. (Índice de Transformación = 41.284 x Pérdida de Energía-0.9618). Este comportamiento se asemeja más al propuesto por Arampatzis para saltadores masculinos participantes en el Campeonato Mundial de Atenas – 1997.

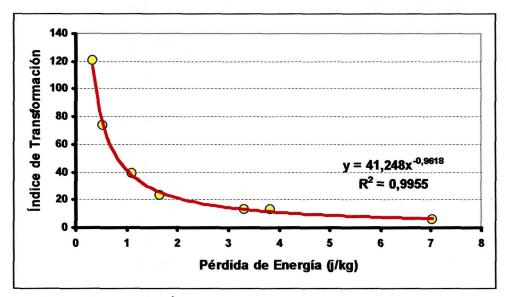


Fig. 49. Relación entre Índice de transformación y pérdida de energía.

#### CONCLUSIONES

- Pese a que los tiempos de aplicación de fuerza (tiempo de contacto) observados en nuestros sujetos durante la batida son similares a los de deportistas de alto nivel de rendimiento, los impulsos de fuerza generados son claramente inferiores en ambos grupos de la muestra (hombres y mujeres).
- 2. Al analizar la energía generada durante la carrera de aproximación y el impulso en ambos grupos, observamos que sólo un saltador masculino alcanza energía potencial y de transformación similares a los que obtienen saltadores de mayor nivel. Esto nos permite comprobar que existen carencias técnicas en los saltos analizados, así como déficits de fuerza especial en estos saltadores (sujetos de muestra nacional).

entre dichas variables. Así, cuando la pérdida de energía es muy pequeña el índice de transformación aumenta, disminuyendo el mismo cuando la pérdida de energía aumenta. (Índice de Transformación = 41.284 x Pérdida de Energía -0.9618). Este comportamiento se asemeja más al propuesto por Arampatzis para saltadores masculinos participantes en el Campeonato Mundial de Atenas – 1997.

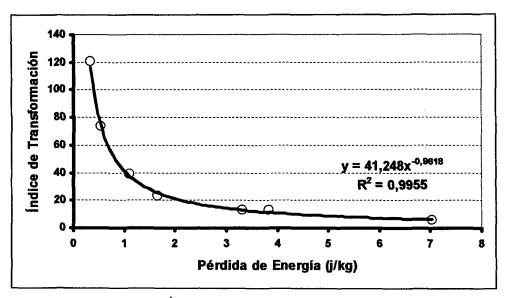


Fig. 49. Relación entre Índice de transformación y pérdida de energía.

#### CONCLUSIONES

- Pese a que los tiempos de aplicación de fuerza (tiempo de contacto) observados en nuestros sujetos durante la batida son similares a los de deportistas de alto nivel de rendimiento, los impulsos de fuerza generados son claramente inferiores en ambos grupos de la muestra (hombres y mujeres).
- 2. Al analizar la energía generada durante la carrera de aproximación y el impulso en ambos grupos, observamos que sólo un saltador masculino alcanza energía potencial y de transformación similares a los que obtienen saltadores de mayor nivel. Esto nos permite comprobar que existen carencias técnicas en los saltos analizados, así como déficits de fuerza especial en estos saltadores (sujetos de muestra nacional).

- 3. Algo similar ocurre al analizar el comportamiento durante la batida de las mujeres de nuestro estudio. No obstante, sí se observa un comportamiento normal de estos sujetos cuando relacionamos la pérdida de energía cinética respecto a potencial con el índice de transformación propuesto por Brüggemann y Arampatzis<sup>136</sup>.
- 4. Del análisis sobre la batida se desprende que nuestros saltadores presentan valores inferiores en relación con los saltadores de mayor nivel de rendimiento. Básicamente se manifiestan de forma global, en una baja velocidad de entrada a la batida, una menor energía cinética, menor energía potencial e irregularidades a la hora de transformar la carrera en salto. Esto nos hace pensar que los/as saltadores/as nacionales presentan déficits significativos en diferentes aspectos técnicos y/o carencias de carácter condicional (preferentemente en fuerza para la musculatura extensora de la pierna de impulso).
- 5. En nuestros sujetos, la forma de abordar y de ejecutar la batida difiere ligeramente en función del sexo del deportista con independencia del nivel de rendimiento. Estas variaciones posiblemente tengan como causa principal los niveles de condición física que, normalmente, caracterizan las diferencias entre ambos géneros.
- 6. A partir de los datos obtenidos en nuestro estudio, podemos señalar que las diferencias de nuestros/as saltadores/as, respecto a los de nivel internacional, tienen su origen en la posición con la que llega el cuerpo a la batida y, además, a las acciones que realiza el deportista durante esta fase del salto. Muchos de estos comportamientos se traducen en un menor descenso del C.M. al iniciar el último contacto con el suelo y, en consecuencia, en la menor posibilidad de generar fuerzas durante la fase de impulso.
- 7. Los segmentos libres, los dos brazos y la pierna contraria a la batida, actúan de forma menos enérgica que en los grupos de referencia utilizados, los cuales presentan mejores resultados en la altura superada.

<sup>136</sup> Brüggemann, G.P. y A. Arampatzis, "Men's and high jump" art. cit., pp. 66-69.

### LINEAS DE INVESTIGACIÓN

1º Sería interesante abordar estudios cinemáticos sobre el tipo de carrera saltada y su influencia en la parte final de la carrera de impulso y en la batida, acompañados de registros EMG con el objeto de cuantificar la mayor o menor pérdida de inclinación, la rigidez y el nivel de reclutamiento que se desarrolla en los músculos de las articulaciones solicitantes.

2º El inconveniente de este tipo de investigaciones es la dificultad en cuanto su aplicación al entrenamiento, es decir, a pesar de los avances que han tenido lugar, el proceso metodológico sigue siendo lento y sugerimos que en el campo tecnológico se podía mejorar la investigación para calcular las variables estudiadas con más rapidez o de forma casi inmediata.

337

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-AZIZ, Y.I. y H.M. KARARA, "Direct Linear Transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry", En, *Proceedings of the Symposium on close-range photogrammetry*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, 1971, pp. 1-17.
- AE, M., K. SHIBUKAWA, S. TADA e Y. HASHIHARA, "A biomechanical analysis of the segmental contribution to the take-off of the one-leg running jump for height", En, Matsui, H., and Kobayashi, K. (eds.), Biomechanics VIII-A & B: proceedings of the Eighth International Congress of Biomechanics, Nagoya, Japan, Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers, c1983, p, 737-745.
- AGUADO, X., Eficacia y técnica deportiva, Inde, Barcelona, 1993.
- AGUADO, X., Biomecánica aplicada al deporte I. En, III Jornadas de Biomecánica aplicada al Deporte. I Congreso Internacional de Biomecánica Ciudad de León, Universidad de León, 1998.
- ALEXANDER, RM. y A. VERNON, "Mechanism of hopping by Kangoroos", *Journal of Zool.*, London, núm. 177, 1975, pp. 265-303.
- ALLARD, P., A.F. STOKES y J.P. BLANCHI, *Three-dimensional analysis of human movement*, Ed. Human Kinetics, Champaing, Illinois, 1995.
- AMERICA SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY, Manual of Photogrametry, (eds.) Slama, C.C., Theurer, C. y Henriksen, S.W., Falls Church, VA, <sup>4</sup>1980.
- ANGULO, R.M. y J. DAPENA, "Comparison of film and video techniques for estimating three-dimensional coordinates within a large field", *International Journal of Sport Biomechanics*, Champaign, vol. 8, núm. 2, 1992, pp. 145-151.
- ANGULO-KINZLER, R.M., S. B. KINZLER, X. BALIUS, C. TURRO, J.M. CAUBET, J. ESCODA y J.A. PRAT, "Biomechanical analysis of the pole vault event", *Journal of applied biomechanics*, Champaign, Illinois, 1994, vol. 10, núm. 2, pp. 147-165.
- ARAMPATZIS, A., *High jump*, I.A.A.F., 1997. [Informe científico sobre el VI Campeonato del Mundo de Atletismo, celebrado en Atenas 1997]
- ARAMPATZIS, A. y G.P. BRÜGGERMANN, "A mathematical high bar-human body model for analysing and interpreting mechanical-energetic processes on the high bar", *Journal of Biomechanics*, vol. 31, 1998, pp. 1083-1092.
- ARAMPATZIS, A., A. KNICKER, V. METZLER, y G.P. BRÜGGERMANN, "Mechanical power in running: a comparison of different approaches", *Journal of Biomechanics*, vol. 33, 2000, pp. 457-463.

ARELLANO, R. y A. FERRO, Análisis biomecánico de la técnica de natación: programa de control del deportista de alta competición, Ed. MEC y CSD, 2001.

ASCORBE, F., Lista Española de marcas de todos los tiempos, F. Ascorbe, (ed.), Madrid, 1999.

ASMUSSEN, E., "Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise", *Acta Physiology*, núm. 92, 1974, pp. 537-545.

ASMUSSEN, E. Y F. BONED-PETERSEN, "Storage of elastic energy in skeletal muscle in man", *Acta Physiol. Scandinavica*, vol. 91, 1974, pp. 385-392.

AURA, O. y J.T. VIITASALO, "Biomechanical characteristics of jumping", *International Journal of Sport Biomechanics*, vol. 5, núm.1, 1985, pp. 89-98.

BALIUS, X., C. TURRÓ, J.M. CAUBET y J. CARLES, "Biomecánica deportiva en los JJ.OO. de Barcelona", *RED*, La Coruña, tomo VII, núm. 4 y Tomo VIII, núm. 1, 1993-94, pp.13-16.

BALLREICH, R. y A. KUHLOW, Biomechanik der Sportaten, vol I: Biomechanik der Leichtathletik, Ed. Enke, Verlag, Sttutgart, 1986.

BASHIAN, A., "Arm action in the flop", Track Technique, vol. 69, 1977, p. 2206-2208.

BAUERSFELD, K. y G. SCHRÖTER, Grundlgen der Leichtaletik, Sportverlag, Berlin, 1979.

BÄUMLER, G. y SCHNEIDER, K., Biomecánica deportiva, Martínez Roca, Barcelona, 1989.

BARLETT, R. T., Introduction to Sports Biomechanics, Alden Press, Oxford, 1997.

BEULKE, H., "Physical significance of the curve run-up in the Fosbury-flop", Track and Field Quarterly Review, Kalamazoo, Mich., vol. 77, núm. 3, 1977, pp. 37-40.

BLOOMFIELD, J., T.R. ACKLAND y B.C. ELLIOT, Applied anatomy and Biomechanics in sport, Blackwell Scientific Publications <sup>2</sup>1995, Australia.

BOBBERT, M.F., P.A. HUIJING, G.J. VAN INGEN, "Drop jumping-I, The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping", *Medicine Science Sports Exercise*, vol. 19, núm. 4,1987a, pp.332-338.

BOBBERT, M.F., P.A. HULJING, G.J. VAN INGEN, "Drop jumping-II, The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping", *Medicine Science Sports Exercise*, vol. 19, núm. 4,1987b, pp. 339-346.

BORMS, J. y M. HEBBELINCK, "Review of studies on Olympic athletic", in *Physical Structure of Olympic Athletes*, Carter J.E.L. (ed), Karger, Basel, 1984, p.7-27.

BOSCO, C. y H. RUSKO, "The effect of prolonged skeletal muscle stretch-shortening cycle on reecoil of elastic energy and on energy expenditure", *Acta Physiol, Scandinavica*, vol. 119, núm. 3, 1983, pp. 219-224.

BOSCO, C. J. TIHANYI, P.V. KOMI, G. FEKETE, P. APOR, "Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles", *Acta Physiologyca Scandinavica*, vol. 116, núm. 4, 1982, pp. 343-349.

BOTHMISCHEL, V.E., "Model characteristics of the high jump run-up", Modern Athlete and Coach, Australia, vol. 28, núm 4, 1990, pp.3-8.

BOUCHARD, G., G. BRUNELLE y P. GODBOUT, La preparation d'un champion, Quebec, Pelican, 1973.

BOUCHET, A. y J. CUILLERET, Anatomía, Ed. Panamericana, Argentina, 1984.

BOUDOLOS, K.D., "Jumping performance of young girls in track and field", Congreso Europeo de Ciencias del Deporte, Libro de Actas, Atenas, 2002.

BRAVO, F. LÓPEZ, H. RUF y F. SEIRU-LO, Atletismo II, R.F.E.A. y C.O.E., Madrid, 1992.

BRIZUELA, G., "Biomecánica del salto de altura", En, Análisis biomecánicos de las técnicas deportivas, Ed. M.E.C. y C.S.D., Madrid, 1996, pp. 87-136.

CAMPOS, J. (compilador), *Biomecánica y deporte*, Ayuntamiento de Valencia, Valencia, 2001.

CARTER, J.E.L., Physical Structure of Olympic Atlhetes, Karger, Basel, 1984.

CAVAGNA, G.A., "Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle", Exercise Sport Science Reviews, Haverstown, vol. 5, 1977, pp. 89-129.

CAVAGNA, G.A., Muscolo e Locomozione, Ed, R. Cortina, Milán, 1988.

CAVAGNA, C.A., B. DUSMAN y R. MARGARIA, "Positive work done by the previusly stretched muscles", *Journal Applied Physiology*, vol. 24, núm. 1, 1968, pp. 21-32.

CAVAGNA, C.A. y M. KANEKO, "Mechanical work and efficiency in level walking and running", *Journal of Physiology*, London, vol. 268, núm.2, 1977, pp. 467-481.

CHALLIS, J.H. y D.G. KERWIN, "Accuracy assessment and control point configuration when using the DLT for photogrammetry", *Journal of Biomechanics*, vol. 25, núm. 9, 1992, pp. 1052-1058.

CHALLIS, S. y F. YEADON, "A biomechanical analysis of the woman's high jump", *Athletic Coach*, England, vol. 26, núm. 2, 1992, pp. 20-25.

CHESHIRE, D., Manual de vídeo aficionado, Ed. Ceac, Barcelona, 1996.

CLAUSER, C.E., J.T. McCONVILLE, y J.W. YOUNG, "Weight, volume and center of mass of segments of the human body", *Journal of Biomechanics*, vol.10, 1986, pp.269-277.

COLE, G.K., et alii., "Application of the joint coordinate system to three-dimensional joint attitude and movement representation: A standardization proposal". Journal of Biomechanical Engineering, New York, vol. 115, núm. 4A, 1993, pp.344-349.

COMITÉ ORGANIZADOR DE SEVILLA'99, Historia de los Mundiales y del Atletismo Español, Ed. Comité Organizador de Sevilla'99, 1999.

CONRAD, A, y W. RITZDORF, "High jump", New Studies in Athletics, London, 1986, vol. 1, núm. 4, pp. 33-51. [Extracto del informe científico del I Campeonato del Mundo Junior en Atenas]

CONRAD, A. y W. RITZDORF, Biomechanical analysis of the High jump, Brüggemann, G.P. y Glad, B. (Eds.), I.A.A.F., London, 1990. [Informe científico sobre los XXIV Juegos Olímpicos, Seúl-1988]

DAINTY, D.A. y R. NORMAN, Standardizing biomechanical testing in sport, Human Kinetics Publishers, Inc, Champaing, IL, 1987.

DAPENA, J., "A computational method for determining the angular momentum of a human body about three orthogonal axes passing through its center of gravity", *Journal of Biomechanics*, vol. 11, núm. 5, 1978, pp. 251-156.

DAPENA, J., "Three-dimensional cinematography with horizontally panning camaras", *Sciences et motricite*, Francia, vol. 3, 1978, pp. 3-15.

DAPENA, J., "Mechanics of translation in the fosbury-flop", Medicine Science Sports Exercise, Indianápolis, vol.12, núm. 1, 1980, pp. 37-44.

DAPENA, J., "The Fosbury-flop Technique", *Track and Field Quarterly Review*, vol. 80, núm. 4, 1980c, pp.22-27.

DAPENA, J., "Simulation of modified human airbone movements", Journal of Biomechanics, vol. 14, 1981, pp.81-89.

DAPENA, J., "Correction for "three dimensional cinematography with control object of unknown shape", *Journal of Biomechanics*, vol. 18, 1985, p. 163.

DAPENA, J., "Basic and Applied Research in the Biomechanics of High Jumping", *Medicine Sports Science*, Indianápolis, vol. 25, 1987, pp 19-33.

- DAPENA, J., "Biomechanical analysis of the fosbury-flop", *Track Technique*, Los Altos, (California), núm. 104, 1988, pp. 3307- 3317 y 3333. [Recopilación de los resultados del Campeonato del Mundo de pista cubierta de Indianápolis 1987]
- DAPENA, J., Biomechanical analysis of the fosbury-flop Part II, *Track Technique*, Los Altos, (California), núm. 105, 1988, pp. 3343-3350. [Campeonato del Mundo de pista cubierta de Indianápolis 1987]
- DAPENA, J., "Biomechanics of High Jumping Technique". Second IOC World Congress on Sports Sciences, Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, Barcelona, 1991, pp. 39-42.
- DAPENA, J., Biomechanics of elite high jumpers, *Track and Field Quarterly Review*, Kalamazoo, Mich., vol. 93, núm. 4, 1993, pp. 25-30.
- DAPENA, J., "How to design the shape of a high jump run-up", *Track Coach*, Mountain-View, California, núm. 131, 1995, pp. 4179-4181.
- DAPENA, J., M. AE y A. IIBOSHI, "A closer look at the shape of the high jump runup", *Track Coach*, Mountain View (California), núm. 138, 1997, pp. 4406-4411.
- DAPENA, J., W.J. ANDERST y M.K. LEBLANC, *High jump (Men)*, USA Track and Field, US Olympic Committee, Indianápolis, 1995b. [Informe científico USATF]
- DAPENA, J., R.M. ANGULO-KINZLER, J.M. CAUBET, C. TURRÓ, X. BALIUS, S.B. KINZLER, J. ESCODA y J.A. PRAT, *Track and Field: High Jump (Woman)*, Medical Commission / Biomechanics Subcommission, International Olympic Committee, Lausanne, 1993a. [Informe encargado por el Comité Olímpico Internacional, a propósito de los Juegos Olímpicos de 1992]
- DAPENA, J., R.M. ANGULO-KINZLER, J.M. CAUBET, C. TURRÓ, X. BALIUS, S.B. KINZLER, J. ESCODA y J.A. PRAT, *Track and Field: High Jump (Men)*, Medical Commission / Biomechanics Subcommission, International Olympic Committee, Lausanne, 1993b. [Informe encargado por el Comité Olímpico Internacional, a propósito de los Juegos Olímpicos de 1992]
- DAPENA, J., R. BAHAMONDE, M. FELTNER, I. OREN y O. NICKLASS, *Biomechanical analysis of high jump (Men)*, U.S. Olympic Training Center, Colorado Spring, 1983b. [Informe técnico científico para atletas de élite USOC/TAC]
- DAPENA, J. y C.S.CHUNG, "Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping", *Med, Scienc, Sports*, vol. 20, núm. 3, 1988, pp. 290-302.
- DAPENA, J., M. FELTNER, R. BAHAMONDE y C.S. CHUNG, Biomechanical analysis of high jump (women), Olympic Training Center, Colorado Springs, 1986a. [Informe técnico científico USOC/TAC]

- DAPENA, J., M. FELTNER y R. BAHAMONDE, Biomechanical analysis of high jump (Men), U.S. Olympic Training Center, Colorado Springs, 1986b. [Informe técnico científico USOC/TAC]
- DAPENA, J., y B.J. GORDON, *High jump (women)*, USA Track and Field, US Olympic Committee, Indianápolis, 1998a. [Informe técnico científico del Campeonato Nacional Americano]
- DAPENA, J. y B.J. GORDON, *High jump (women)*, USA Track and Field, US Olympic Committee, Indianápolis, 1999. [Informe técnico científico USATF]
- DAPENA, J., E.A. HARMAN y J.A. MILLER, "Three-dimensional cinematography with control object of unknown shape", *Journal of Biomechanics*, vol.15, 1982, pp. 11-19.
- DAPENA, J., E. HARMAN, P. STEWART, G. LUNT y R. HINTERMEISTER, Biomechanical analysis of High jump (men and women), U.S. Olympic Training Center, Colorado Springs, 1982. [Informe científico para atletas de élite USOC/TAC]
- DAPENA, J., M.K. LEBLANC, R.E. VAUGHN, G. LEWIS JOHNSTON y W.J. ANDERST, *High jump (men)*, Indianápolis, 1994a, USA Track and Field, US Olympic Committee. [Informe científico USATF/USOC]
- DAPENA, J., M.K. LEBLANC, R.E. VAUGHN, G. LEWIS JOHNSTON y W.J. ANDERST, *High jump (women)*, Indianápolis, 1994b, USA Track and Field, US Olympic Committee. [Informe científico USATF/USOC]
- DAPENA, J. y M.K. LEBLANC, *High jump (Women)*, USA Track and Field, US Olympic Committee, Indianápolis, 1995a. [Informe científico USATF]
- DAPENA J. y C. MCDONAL, "A three-dimensional analysis of angular momentum in the hammer throw", *Medicine and Science in sports and exercise*, Baltimore, vol.21, núm. 2, 1989, pp. 206-220.
- DAPENA J., C. MCDONAL, y J. CAPPAERT, "A regression analysis of high jumping technique", *International Journal of Sport Biomechanics*, Champaign, vol. 6, núm. 3, 1990, pp. 246-261.
- DAPENA, J. A. MICHIYOSHI, y A. IIBOSHI, "A closer look at the shape of the high jump run-up", *Track Coach*, Mountain View, California, núm.138, 1997, pp. 4406-4411.
- DAPENA, J., R.E. VAUGHN y G. LEWIS JOHNSTON, *High Jump (Men)*, USA Track and Field, US Olympic Committee, Indianápolis, 1993. [Informe científico de las pruebas americanas de clasificación olímpica]
- DAPENA, J., A.P. WILLMOTT y B.J. GORDON, *High jump (Men)*, USA Track and Field, Indianápolis, 1998b. [Informe técnico científico del Campeonato Nacional Americano]

DAPENA, J., A.P. WILLMOTT y B.J. GORDON, *High jump (men)*, USA Track and Field, US Olympic Committee, Indianápolis, 1999. [Informe técnico científico USATF]

DEMPSTER, W.T., Space requeriments of the seated operator, Technical Report WADC-TR, Wright-Paterson Air Force Base, OH, 1955, pp. 55-159.

DEPORTE, E. y B. V. GHELUWE, "Force plataform data in elite high jumping: competition versus training condition", En, Conference Proceedings, vol. 2, The First International Conference –Tecniques in Athletics, Colonia, 1990, pp.762-765.

DIMITRIEV, V., "The fosbury flop: basic structure of the take-off", Soviet Sports Review, vol. 21, núm.4, 1986, pp. 167-171.

DONALD, A.C., "The approach pattern in the Fosbury Flop", Track and Field Quarterly Review, Kalamazoo, Mich., núm. 4, 1984, p.15.

DONSKOI, D., Biomecánica con fundamentos de la técnica deportiva, Ed. Pueblo y educación, Ciudad de la Habana, 1982.

DONSKOI, D. y V. ZATSIOSRKI, Biomecánica de los ejercicios físicos, Ed. Raduga, Moscú, 1988.

DYACHTKOV, M., "The high jump", *Track Technique*, Los Altos, California, núm. 34, 1968, pp.1058-1075.

DYSON, G., Mecánica del atletismo, Stadium, Buenos Aires, 1962.

EDMAN, K.A.P., G. ELZINGA, M.I. NOBLE, "Enhancement of mechanical performance by strech during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscles fibres", *Journal of Physiology*, London, núm. 281, 1978, pp.139-155.

ERDMANN, W.S., "Density of trunk tissies of young and medium age people", *Journal of Biomechanics*, vol. 23, 1990, pp. 945-947.

ERDMANN, W.S., "Geometric and inertial data of the trunk in adult males", *Journal of Biomechanics*, vol. 30, núm. 7, 1997, pp. 679-688.

ESCODA, J., R. ANGULO y J.A. PRAT, "Nuevas tecnologías: La visualización biomecánica", *Apunts Educación Física y Deportes*, Barcelona, núm. 28, 1992, pp.31-34.

FARLEY, C.T. y O. GONZÁLEZ, "Leg stiffness and human frecuency in human running", *Journal of Biomechanic*, New York, vol. 29, núm. 2, 1996, pp.181-186.

FELTNER, M.E. y J. DAPENA, "Three-dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part I: General model", *International Journal Sport Biomechanic*, USA, vol. 5, núm. 4, 1989, pp. 403-419.

FERRO, A. (comp.), El apoyo biomecánico al rendimiento deportivo, Ed. M.E.C. y C.S.D., Madrid, 1999.

FERRO, A., La carrera de velocidad. Metodología de análisis biomecánico, Ed. Esteban Sanz, Madrid, 2001.

FORWOOD, M.R., R.J. NEAL y B.D. WILSON, "Scaling segmental moments of inertia for individual subjects", *Journal of biomechanics*, vol. 18, núm. 10, 1985, pp.755-761

FUENTES, J., Fundamentos biomecánicos de la musculación. Ed. Santoja, Madrid, 1994.

GARAY, A.L de, L. LEVINE, y J.E.L. CARTER, Genetic and anthropological studies of Olympic athletes, Academic Press, New York, 1974.

GARCÍA-FOJEDA, A., F. BIOSCA y J.C. VÁLIOS, "La biomecánica: Una herramienta para la evaluación de al técnica deportiva", *Apunts Educación Física*, Barcelona, núm.47, 1997, pp. 15-20.

Ga MANSO, J.M. La fuerza. Gymnos, Madrid, 1999.

G<sup>a</sup> MANSO, J.M., J. CAMPOS, P. LIZAUR y C. P. ABELLA, Los talentos deportivos, Gymnos, Madrid, 2003.

GHELUWE, V. Y B. VAN DOMINCK, "Comparative cinematographic study of the flop and the straddle technique in high jumping, En, A. Ayalon, *Biomechanics of sports games and sports activities*, Netanya, Israel, Vingate Institute for Physical Education and Sport, 1979, pp. 72-79.

GIANIKELLIS, K. y M. GUTIERREZ, "Estado actual de conocimientos de las técnicas de tratamiento de los datos posición-tiempo en el campo de la biomecánica del aparato locomotor", *Motricidad*, Granada, vol. 4, 1998, pp. 7-25.

GOLDSTEIN, H., Classical Mechanics, Ed. Addison, Wesley, Reading Mass, <sup>2</sup>1980.

GOWITZKE, B. y M. MILNER, *El cuerpo y sus movimientos*. Bases científicas. Ed. Paidotribo, Barcelona, 1999.

GRIFFING, D.F., The dynamics of sports, Dalog Company. Ohio, 31988.

GROPER, H. y G. THIES, "Der kennzeichnung der inneren struktur der koerperlichen leistungsfaehigkeiten von Zinder und jugendlichen der DDR", *Theorie und Praxis der Koerperkultur*, vol. 25, núm. 7, 1976, p.543-549.

GROSSER, M., H. HERMANN y F. TUSKER y F. ZINTL, *El movimiento deportivo*, Ed. Martínez Roca, Barcelona, 1991.

GUIMARAES, A., y F.H. DE ROSE, "Somatotype of Brazilian student track and field athletes of 1976", *Congress in sport Medicine*, Brasilia, 1978, pp. 231-238.

GUTIERREZ, M., Estructura Biomecánica de la motricidad, INEF, Granada, 1988.

GUTIERREZ, M., Biomecánica deportiva, Ed. Síntesis, Madrid, 1998.

GUTIERREZ, M., y V.M. SOTO, "Análisis biomecánico del salto de altura en el estilo Fosbury- Flop (I)", en *Archivos de Medicina del Deporte*, vol. IX, núm.36, pp.253-263, 1992.

GUTIERREZ, M., y V.M. SOTO, "Análisis biomecánico del lanzamiento de martillo". En, Análisis biomecánicos de los lanzamientos en atletismo, Ed. M.E.C. y C.S.D., Madrid, núm. 1,1995, pp. 4-45.

GUTIERREZ, M., V.M. SOTO, y M. MARTÍNEZ, Sistema de análisis computorizado para el movimiento humano, Ed. Unisport, Junta de Andalucía, 1990.

HAINAUT, K., Introducción a la biomecánica, Ed. Jims, Barcelona, 1976.

HARMAN, E.A., M.T. ROSENSTEIN, P.N. FRYKMAN y R.M. ROSENSTEIN, "The effects of arms and contermovement on vertical jumping", *Med. Sc. Sports Exercise*, vol. 22, núm. 6, 1990, pp. 825-833.

HATZE, H., "A mathematical model for the computational determination of parameter values of anthropomorphic segments", *Journal of biomechanics*, vol. 13, núm. 10, 1980, pp. 833-843.

HATZE, H., "High-precision three-dimensional photogrammetric calibration and objet space reconstruction using a modified DLT-approach", *Journal of biomechanics*, vol. 21, núm. 7, 1988, pp. 533-538.

HAY, J.G., "A kinematic look at the high jump", Track Technique, núm 53, 1973, 1697-1703.

HAY, J.G., "Biomechanical Aspects of Jumping", Exerc, Sports Sciences Review, vol. 3, 1975, pp. 135-161.

HAY, J.G., The Biomechanics of sports techniques, Prentice Hall, New Jersey, 41993.

HAY, J.G., E.M. THORSON, B.C. KIPPENHAN, "Changes in muscle-tendon length during the take-off of a running long-jump", *Journal Sports Sciences*, Royaume, vol. 17, núm. 2, 1999, pp.159-172.

HAY, J.G., B.D. WILSON, J. DAPENA y G.G. WOODWORTH, "A computational technique to determine the angular momentum of a human body", *Journal of biomechanics*, vol. 10, núm. 4, 1977, pp. 269-277.

HEATH, B.H. y J.E.L. CARTER, "A modified somatotype method", Am. J. Phys Antropology, 1967, vol. 27, pp. 57-74.

HEDGECOE, J., Guia completa de video, Ceac, Barcelona, 1992.

HEGEDUS, J., "Aspectos biomecánicos generales del salto de altura", Stadium, Argentina, vol. 25, núm. 148, 1991.

HEINZ, S. (1974). "Curved run-up in straddle?" Modern Athlete and Coach, Australia, vol. 12, núm. 4, 1974, pp. 28-29.

HERNÁNDEZ, J.L. I. MANSILLA. Anuario Atlético Español Ranking 1999-2000, Departamento de Internet y Estadística de la R.F.E.A., Madrid, 2001;

HOCHMUTH, G., Biomecánica de los movimientos deportivos, INEF de Madrid, Madrid, 1973.

HONGFEI, H., "Approches et envolées rapides. La technique de Zhu Jianhua", AEFA, France, núm. 101, 1987, pp. 59-62.

HOUVIÓN, M., R. PROST, y H. RAFFIN-PEYLOZ, *Tratado de atletismo: Saltos*, Ed. Hispano europea, Barcelona, 1986.

HUBICHE, J.L. y M. PRADET, Comprender el Atletismo, Barcelona, Inde, 1999.

ISOLEHTO, J., P.V. KOMÍ, "Ground reaction forces during the fosbury-flop", Congreso de Ciencias del Deporte, Libro de abstract, 2002.

IVANCEVIC, K., "The relation between morphologycal characteristics and the explosive strength in women", *Kinesiologija*, Zagreb, vol. 20, núm. 1, 1988, pp. 17-24.

JENSEN, R.K., "Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method", *Journal of biomechanical*, vol. 11, núm. 8-9, pp. 349-358.

JOHNSTON, D., "The speed/power Flop - It's a natural?", en *Track and Field Quarterly Review*, Kalamazoo, Mich., vol. 88, núm.4, 1988, pp. 19-22.

KING, I., "Plyometric training: In perspective", Sports, Ont., vol. 13, núm.5, 1993, pp.1-12.

KERSSENBROCK, K. y SPILAR, K., "Mazdorf versus Brumel: Technique of highest high jumper", *Track Technique*, núm. 47, 1972, 1514-1519.

KOMI, P.V, "Elastic potentiation of muscle and its influence on sport performance", en, Bauman, W, (ed.), *Biomechanics and Performances in Sport*, Schorndorf, Verlag Karl Hoffman, 1983, pp. 59-70.

KRAZHEV, V.D., A.P. STRZHAK, G.I. POPOV, V.I. BOBRONIK, "A biomechanical analysis of the technique of the world's top female high jumpers", Soviet sports review, Escondido, California, vol. 25, núm. 2, 1990, pp. 64-65.

KREIGHBAUM, E. y M. BARTHELS, Biomechanics a qualitative approach for studing human movement, Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minnesota, <sup>2</sup>1985.

- LAFFAYE, G., "Le saut en hauteur en Fosbury et les facteurs de perfomance", Science et motricité, France, núm. 42, 2001, pp 3-15.
- LANGE, A. de, A. HUISKES y J. KAUER, "Effects of data smoothing on the reconstruccion of helical axis parameters in human joint kinematics", *Journal of Biomechanical Engineering*, New York, vol. 112, núm. 2, 1990, pp. 107-113.
- LAZAREV, IV., N.G. MIJAILOV, N.A., YAKUNIN, Y L. DE LA PAZ, "Aspectos biomecánicos del salto de altura con carrera de impulso", Boletín Científico Técnico. INDER, Cuba, vol. 19, num. 1-2, 1984, pp. 39-49.
- LEBLANC, M. y J. DAPENA, "Optimal system values for producing a large velocity of the distal endpoint during flail-like motion", *Journal of applied biomechanics*, Champaign, Ill., vol. 18, núm. 3, 2002, pp. 278-286.
- LEES, A., P. GRAHAM-SMITH y N. FOWLER, "A biomechanical analysis of the last stride, touchdown and take-off characteristics of the men's long jump", *Journal Applied of Biomechanics*, vol. 10, núm. 1, 1994, pp.61-78.
- LEHMANN, G., Fotogrametría, Editores Técnicos asociados, s.a., Barcelona, 1975.
- LEVA, de P., "Validity and accuracy of four methods for locating the center of mass of young male and female athletes", En, Abstracts of the International Society of Biomechanics, XIVth Congress, Paris, vol. I, 1993, pp. 318-319.
- LEVA, de P., "Adjustementes to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters", *Journal of Biomechanics*, vol. 29, núm. 9, 1996, pp. 1223-1230.
- LEVA, de P., "Joint center longitudinal positions computed from a selected subset of Chander's data", *Journal of Biomechanics*, vol. 29, núm. 9, 1996, pp. 1231-1233.
- LEWIS, R., Curso rápido de video, Tursen/Hermann Blume Ediciones. Madrid. 1994.
- LÓPEZ, F., "Salto de altura", Manual Técnico de la Escuela Nacional de Entrenadores, R.F.E.A., Madrid, 1983.
- LÓPEZ-CUERVO, S., Fotogrametría, Egraf, s.a., Madrid, 1980.
- LUCAS, J., "The run-up curve in the high jump", Modern Atlhete and Coach, Athelstone, Australia, vol. 24, núm. 2, 1986, pp. 32-35.
- LUMLEY, J., Anatomía de superficie. Las bases anatómicas de la exploración clínica, Churchill Livingstone, <sup>2</sup>1992.
- LUNDIN, P. y W. BERG, "Developing the approach in the jumps", News Studies Reviews, London, vol. 8, núm. 1, 1993, p. 45-50.
- LUHTANEN, P. y P.V. KOMI, "Segmental contribution to forces in vertical jump", European journal of applied physiology, RFA, vol. 38, núm. 1, 1978, pp. 41-48.

LLANOS, F., Introducción a la biomecánica del aparato locomotor, Universidad Complutense, Madrid, 1988.

MARTÍN, D., Grundlagen der Trainingshlehre (II), Schorndorf, 1980.

McCONVILLE, J.T., T.D. CHURCHILL, I. KALEPS, C.E. CLAUSER y J. CUZZI, Antropometric relationships of body and body segment moments of inertia, AFAMRL-TR, Wright-Paterson Air Force Base, OH, 1980, pp. 80-119.

McDONAL, C. y J. DAPENA, "Linear Kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races", *Medicine and science in sports and exercise*, Baltimore, vol. 23, núm. 12, 1991, pp.1382-1391.

McDONAL, C. y J. DAPENA, "Angular Momentun in the men's 110-m and women's 100-m hurdles races", *Medicine and science in sports and exercise*, Baltimore, vol. 23, núm. 12, 1991, pp. 1392-1402.

MAC MAHON, T.A., y G.C. CHENG, "The mechanics of running: how does stiffness couple with speed?" *Journal of Biomechanics*, New York, vol. 23, núm. 1, 1990, pp. 65-78.

MEDVEDEVV, A.C., "Premisas para elaborar un programa de halterofilia a largo plazo", Moscú, 1988.[Traducción mecanografiada por S. Tijonov]

MILLERSON, G., Técnicas de realización y producción en televisión, Ed. Focal Press, London, <sup>10</sup>1979.

MILLER, D. I. Y W.E. MORRISON, "Prediction of segmental parameter using the Hanavan human body model", *Medicine and Science in sport*, vol.7, núm. 3, 1975, pp. 207-212.

MOTTA, O., "La tecnica del fosbury", Atletica Studi, Scienza & Tecnica, vol. 24, núm. 5, 1993, pp. 297-313.

MURAKI, Y., T. SAKAMOTO, S. SAITO, M. AE y K. SHIBUKAWA, A 3-Dimensional cinematographical analysis of foot deformations during the take-off phase of the Fosbury – Flop, en, Matsui, H. and Bobayashi, K. (eds.), Biomechanics VIII-A & B, proceedings of the VIII International Congress Biomechanical, Nagoya, Japón., Champaign, Ill, Human Kinetics Publishers, 1983, pp. 762-770.

MYER, B., "Mechanics of the high Jump", Track & Field Quarterly Review, Kalamazoo, Mich., vol.88, núm. 4, 1988, pp. 17-22.

NAGANO, A., Y. ISHIGE Y S. FUKASHIRO, "Comparison of new approaches to estimate mechanical output of individual joints in vertical jumps", *Journal of biomechanical*, vol. 31, núm. 10, 1998, pp. 951-955.

NAVARRO, E., J. CAMPOS y P. VERA, "Análisis biomecánico de la técnica individual de los dos mejores atletas españoles de lanzamiento de jabalina", en Análisis biomecánicos de los lanzamientos en atletismo, Ed. Ministerio de Educación y Ciencia, Consejo Superior de Deportes, Madrid, 1995, pp. 47-89.

NIGG, B. y W. HERZOG, Biomechanics of the muscle-skeletal System. Ed. Wiley & Sons. West Sussex, England, 1994.

NIGG, B., J. WASER, T. BIBER, Hochsprung, Sprung Springen Sprünge, Ed, Benno Nigg, Zurich, 1974.

OLASO, S. y J. CEBOLLA, "La simulación de sistemas en los lanzamientos atléticos: Una aplicación al peso", Apunts Educación Física y Deportes, Barcelona, núm. 47, 1997, pp. 21-29.

OLIVER, A., "Posibilidades del fosbury flop", *Atletismo Español*, Madrid, núm. 170, 1971, pp. 38-41.

OZOLIN, N., "The high jump takeoff mechanism", *Track and field*, núm. 52, 1973, pp. 1668-1671.

OZOLIN, N. y V.I. VORONKIN, Atletismo, FIS, 1979.

PAOLILLO, B., "Why use a curved approach in the *flop* jump?" *Modern Athlete and Coach*, Australia, vol. 27, núm.1, 1989, pp. 19-20.

PANDY, M.G. y F.E. ZAJAC, Optimal muscular coordination strategies for jumping, Journal of biomechanics, vol. 24, núm, 1, 1991, pp. 1-10.

PARIENTE, R., La fabulose historie de l'athletisme, Odil, France, Paris, 1978.

PARNELL, R.W., "Somatotyping by physical antropometry", Am. Journal. Phys., 1954, vol.12, pp. 209-239.

PEYLOZ, H. Les sauts, Ediciones Amphora, Paris, 1976.

PIRA, A.M., y J.H. LEVARLET, "El fosbury flop", En, Altura y Pértiga, Cuaderno de atletismo, RFEA, Madrid, núm. 4, 1981, pp. 5-18. [Este artículo es una traducción de "Sport", núm. 81 de enero de 1978.]

PLAS, F., E. VIEL e Y. BLANC, La marcha humana: Cinesiología dinámica, mecánica y patomecánica, Editorial Masson, S.A., París, 1984.

PLATANOV, V.N. y S. L. FESSENKO, Los sistemas de entrenamiento de los mejores nadadores del mundo, vol. I, Editorial Paidotribo, Barcelona, 1995.

PRIMAKOV, I.N., I.V. LAZAREV, y V.G. KONESTIAPIN, "Salto de altura", [Material didáctico para estudiantes y oyentes de la Facultad de Capacitación Profesional del Instituto Central de Educación Física Orden de Lenin, Moscú], traducción de D. Álvarez y M. Vélez, 1986.

QUERCETANI, R.L., Historia del Atletismo Mundial 1860-1991, Ed. Debate, Madrid, 1992.

REID, P., "Approach and take-off for the back layout high jump", National Strength and conditioning association journal, vol 8, núm. 1, 1986, pp. 5-9.

RIERA, J., Aprendizaje de la técnica y la táctica deportiva, Inde, Barcelona, 1989.

RITZDORF, W., y A. CONRAD, Biomechanical analysis of the high jump, en Brüggemann, P., y Susanka, P., (eds.), I.A.A.F., London, 1988. [Informe científico sobre el II Campeonato del Mundo de Atletismo, celebrado en Roma, en 1987]

RITZDORF, W., A. CONRAD y M. LOCH, "Intra-individual comparison of the jumps of Stefka Kostadinova at the II World Championship in athletics Rome 1987 and the Games of the XXI Olympiad Seoul-1988", New Studies in Atlhetic, London, vol. 4, núm. 4, 1989, pp. 35-41.

RODRÍGUEZ-ALONSO, C.A., M.C. Fernández, M. Martínez, X. Martínez, "Aproximación hacia el cálculo del peso adecuado en la preparación del deportista", *Boletín Científico Técnico*, núm. 2, 1989, p. 6-32.

SCHMOLINSKY, G., Atletismo, Ed. A. Pila Teleña, Madrid, 1981.

SCHUBIN, M. y B. SCHUSTIN, "Approaching heights -some model parameters of the high jump", *Modern Athlete and Coach*, Adelaida, Australia, vol. 31, núm. 2, 1993, pp. 31-33. [Este artículo es una traducción resumida del *Legkaya Atletika*, 1992.]

SCHWEIGERT, D., "Dynamic high jumping", Track and Field Quarterly Review, Kalamazoo, Mich., vol. 92, núm. 4, 1992.

SHELDON, W.H., G.W. DUPERTIUS y E. MCDERMOTT, Atlas of men: a guide for somatotyping the adult male at all ages, Harper & Brothers, New York, 1954.

SHORTEN, M.R., "Muscle elasticity and human performance", En, B. Gheluwe y J. Atha, Current research in sports biomechanics, Basel, Kargel, 1987, pp. 1-18.

STRIZJAK, A.P., O.I. ALEXANDROV, C.P. SIDORENKO y B.A. PETROV, Saltos atléticos, Ed. Esdarovia, Kiev, 1989. [Traducción de D. Alvarez y M. Vélez]

TANCIC, D., "Étude comparative du flop-vitesse et du flop-amplitude", en, A.M. Pira y H.Levarlet, *Sport*, Belgique, vol. vol. 21, núm. 1, 1978, pp. 2-11.

TANCIC, D., "Técnicas modernas del salto de altura", en Altura y Pértiga, Cuadernos de Atletismo, R.F.E.A., Madrid, núm.4, 1981, pp. 19-43. [El artículo es traducción de la revista Die Lehre der Leichathletik, núms. 23-26, (mayo a junio de 1978)]

TANCIC, D., "Biomecánica de la técnica moderna de salto de altura", en, Entrenamiento alto nivel: saltos, E.N.E. y R.F.E.A., Madrid, 1988.

TANNER, J.M. The physique of the Olympic athlete, Allen and Unwin, London, 1964.

TELLEZ, K., "Elements of the high jump", Track Technique, Mountain-View, California, núm. 125, 1993, pp. 3987-3990.

TERAUS, J., Biomechanics in sports, Academic Publishers, California, <sup>2</sup>1983.

TIDOW, G., "Model technique analysis sheets. Part VIII: The flop high jump", New Studies in Athletics, vol. 8, núm. 1, 1993, pp. 31-44.

TITTEL, K. y H. WUTSCHERK, "Anthropometric factors", en, P.V. Komi, (ed.), Strength and power in sport, Blackwell Scientific Publication, Oxford, 1991.

TOUS, J, Nuevas tendencias en fuerza y musculación, Ergo, Barcelona, 1999.

TUMANIAN, G.S., Lucha deportiva: Selección y Planificación [Tesis doctoral], Instituto Lenin, Moscu, 1985. [traducción mecanografiada de Tijonov, S.]

VELDMANN, B., "Ein Technik-Hochsprung-Model (Flop/Männer)", Die Lehre der Leichathletik, 15-16, 1989, pp. 493-500.

VÉLEZ, M., "Control de la planificación y desarrollo del rendimiento en el fosbury-flop", Apunts Educación Física, núm. 28, 1992, p. 7-16.

VERA, P., J.V. HOYOS y J. NIETO, Biomecánica del aparato locomotor I: Fundamentos, IBV, Valencia, 1985

VERSTRAETE, M. C., "A technique for locating the center of mass and principal axes of the lower limb", *Medicine and science in sport and exercise*, vol. 24, núm. 7, 1992, pp. 825-831.

VERSTRAETE, M.C. y R.W. SOUTAS-LITTLE, A Method for computing the three-dimensional angular velocity and acceleration of a body segment from three dimensional position data. Journal of Biomechanical Engineering, New York, vol. 112, núm. 2, 1990, pp.114-118.

VIITASALO, J.T., O. AURA y P. LUHTANEN, "Biomechanische und antropometrische aspekte des hochsprung", Leitstungssport, RFA, núm. 2, 1982, pp. 146-151.

VIITASALO, J.T. y O. AURA, "Seasonal fluctuations of force production in high jumpers", Canadian Journal-of-Applied Sport Sciences, vol. 9, núm. 4, 1984, pp. 209-213.

VIITASALO, J.T., A. SALO Y J. LAHTINEN, "Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump", *European J. Applied. Physiology*, vol. 78, núm. 5, 1998, pp. 432-440.

VIITASALO, J.T., L.OSTERBACK, M. ALEN, P. RAHKILA y E. HAVAS, Mechanical jumping power in young athletes, Acta Physiol. Scandinavica, vol. 131, núm. 1, 1987, pp. 139-145.

VOLKOV, V.M. y V.P. FILLIN, Selección Deportiva, Ed. Raduga, Moscú, 1989.

VOROBIEV, A.N., Halterofilia: Ensayos sobre fisiología y entrenamiento deportivo, Universidad, México, D.F., 1974.

VV.AA., Biomecánica y deporte, Instituto de Biomecánica de la ETSII de Valencia, 1984.

VV.AA., El libro de la Pista Cubierta, R.F.E.A., 1986.

VV.AA., Entrenamiento de alto nivel: saltos, Cuaderno de atletismo, ENE, Madrid, 1988.

VV.AA., Informe técnico de la V Copa del Mundo de Barcelona, R.F.E.A., Madrid, 1989.

VV.AA., "Digital Motion Capture. A work station biomechanical análisis tool", III IOC World Congress on Sport Sciences, Atlanta, Georgia, USA, September, 1995.

VV.AA., *Boletines*, Asociación Española de Estadísticos de Atletismo (AEEA), núms. 1-66, (Junio 1987-Enero 2003), Madrid.

VV.AA El Atletismo Español en pista cubierta, R.F.E.A. y A.E.E.A., Madrid, 1995;

VV.AA., Athletics (1987 a 2002), Mathius, P. (ed), The Association of Track & Field Statiscians (ATFS), Gran Bretaña.

VV.AA., Biomecánica fuera y dentro del laboratorio, Universidad de León. 1997.

VV.AA. Talentos deportivos; Detección, entrenamiento y gestión, Dirección General de Deportes del Gobierno de Canarias, Las Palmas de Gran Canaria, 2003.

WALDER, P., Mechanics and sport performance, Feltham Press, Hamshire, 1994.

WEINEXK, J., La anatomía deportiva. Ed. Paidotribo, Barcelona, 1995.

WHITTSET, C.E., Some dynamic response characteristics of weightless man, Technical Report AMRL-63-18, Wright-Paterson Air Force Base, OH, 1963.

WILSON, G.J., B.C. ELLIOT y G.A. WOOD, "The use of elastic energy in sport", *Sport Coach*, Canberra, Aust., vol.13, núm. 3, 1990, pp. 8-10.

WINTER, D.A., Biomechanics of human movement, Wiley-Interscience Publication, Toronto, 1979.

WINTER, D.A., The biomechanics and motor control of human movement, John Wiley and Sons, New York, 1990.

WIRHED, R. Habilidad atlética y anatomía del movimiento, Ed. Edika med, Barcelona, <sup>2</sup>1993.

WOLTRING, H.J., "Representation and calculation of 3D joint movement", *Human Movement Science*, Amsterdam, vol. 10, 1991, pp. 603-616.

WOLTRING, H.J., "3-D attitude representation of human joints: a standardization proposal", *Journal of Biomechanics*, vol. 27, núm. 12, 1994, pp. 1399-1414.

WOOD, G. A. y JENNINGS, L.S., "On the use of spline funtions for data smoothing", *Journal of Biomechanics*, vol. 12, 1979, pp. 477-479.

XINWANG, F., "An analysis of Zhu Jianhua's run-up technique", *Track and Field Quarterly Review*, Kalamazoo, Mich., vol. 86, núm. 4, 1986, pp.38-41.

YEADON, M.R., "The simulation of aerial movement-I. The determination of orientation angles from film data", *Journal of Biomechanics*, vol. 23, núm. 1, 1990, pp. 59-66.

YEADON, M.R., "The simulation of aerial movement-II. A mathematical inertia model of the human body" *Journal of Biomechanics*, vol. 23, núm. 1, 1990, pp. 67-74.

YEADON, M.R., "The simulation of aerial movement-III. The determination of the angular momentum of the human body", *Journal of Biomechanics*, vol. 23, núm. 1, 1990, pp. 75-83.

YOUNG, W.B., J.F. PRYOR, G.J. WILSON, "Effect of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance", *Journal Strength and Conditioning Research*, Champaign, Ill., vol. 9, núm. 4, 1995, pp. 232-236.

ZANON, S., "La logica del fosbury-flop", Atlética Leggera, núm. 206, 1977, pp. 41-50.

ZATSIORSKY, V.M., Metrología deportiva, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1989.

ZATSIORSKY, V. M., Kinetics of Human Motion, Ed. Human Kinetics, Champaign, IL, 2002.

ZATSIORSKY, V.M., y V. SELUYANOV, "The mass and inertia characteristics of the main segments of the human body", en, Biomechanics VIII-B, eds. H. Matsui y K. Kobayashi, Human Kinetics Publisher, Champaign, 1983, pp. 1152-1159.

ZATSIORSKY, V.M. y V. SELEYANOV, "Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regression equations", en, Biomechanics IX-B, eds. D.A. Winter, R. W. Norman, R.P. Well, K. C. Hayes y A.E. Patla, Human Kinetics Publishers, Champaign, 1985, pp. 233-239.

Polytonium on the subsequent of the property of the polytonium of

ZOTKO, R., "Capacitá di salto-criteri di selezioni e principi di sviluppo degli atleti", *Atleticastudi*, Roma,vol. 30, núm. 3-4, 1999, pp. 25-36.

## INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO	I Material y método	Págs.
Tabla -1	Atletas femeninas con la mínima exigida	15
Tabla –2	Atletas masculinas con la mínima exigida	16
Tabla –3	Entrenadores de las atletas participantes en el Campeonato de España	17
Tabla –4	Atletas participantes en el Campeonato de España	18
Tabla –5	Resultados de los Campeonato de España desde el año 1988-1997	20
Tabla –6	Marca promedio del ranking nacional entre 1988-1997	21
Tabla –7	Participantes españoles en los eventos internacionales	22
Tabla –8	Marca promedio del ranking mundial	24
Tabla –9	Nivel de rendimiento por categorías	25
Tabla -10	Posiciones del ranking mundial	25
Tabla -11	Condiciones atmosféricas durante la competición	31
Tabla -12	Desarrollo de la competición de la categoría masculina	37
Tabla -13	Número de intentos válidos en categoría masculina	38
Tabla –14	Promedios de válidos y nulos en campeonatos internacionales (hombres)	39
Tabla –15	Desarrollo de la competición en categoría femenina	39
Tabla -16	Número de intentos válidos y nulos en competiciones internacionales en la	40
	categoría femenina	
Tabla -17	Promedios de válidos y nulos en el campeonato nacional (mujeres)	40
Tabla –18	Definición de los 22 puntos del cuerpo humano	51
Tabla –19	Parámetros inerciales	52
14014 17	A CAMMONDO MOTOMICO	
CAPÍTULO	II Características cronológicas, morfológicas y constitucionale	es del
saltador/a d	le altura	
Tabla -1	Edades para cada modalidad deportiva	60
Tabla –2	Edades para cada disciplina atlética en el alto rendimiento deportivo	61
Tabla -3	Tiempo en alcanzar el alto rendimiento deportivo	62
Tabla -4	Edad de los participantes en las Olimpiadas	67
Tabla –5	Edad de los finalistas en Campeonatos del Mundo	68
Tabla –6	Edad de los participantes en las Campeonatos de Europa	69
Tabla -7	Edad al establecer el Récord del Mundo en hombres	71
Tabla –8	Edad al establecer el Récord del Mundo en mujeres	72
Tabla -9	Clasificación de los veinticuatro mejores hombres	73
Tabla -10	Clasificación de los veinticuatro mejores mujeres	74
Tabla -11	Características de los participantes de nuestra muestra masculina	75
Tabla -12	Características de los participantes de nuestra muestra femenina	76
Tabla -13	Aspectos correlacionados con el salto de altura	80
Tabla -14	Clasificación de los cincuenta mejores hombres	87
Tabla -15	Ranking mundial de hombres	88
Tabla -16	Relación entre el diferencial y la talla del atleta	90
Tabla -17	Lista de cuarenta y dos mujeres que superaron los dos metros	91
Tabla –18	Clasificación de las cien mejores mujeres	92
Tabla –19	Relación entre el diferencial y la talla en mujeres	94
Tabla -20	Estatura de los atletas españoles	95
Tabla -21	Los diez mejores de todos los tiempos	97
Tabla -22	Mejores saltadores españoles de todos los tiempos	98
Tabla -23	Once primeros del Mundo y de España	99
Tabla -24	Categorización del miembro inferior	100
Tabla -25	Clasificación por especialidades atléticas	102
Tabla -26	Índice (P/E) en las citas más importantes del calendario	105
Tabla –27	Relación de atletas con una marca entre 2.45-2.36 metros	106

Tabla –28	Relación de atletas con una marca entre 2.09-2.00 metros	108
Tabla –29	Parámetros antropométricos de saltadores nacionales	110
Tabla -30	Somatotipo medio de atletas masculinos olímpicos	113
1 aoia -30	Somatoupo mento de adetas mascumos ompreos	112
CAPÍTULO	III Estudio de la carrera de impulso en el fosbury-flop	
Table 1	Volcaidad haricantal dal nanúltimo y último poso de correro en hombres	130
Tabla –1	Velocidad horizontal del penúltimo y último paso de carrera en hombres	131
Tabla –2	Velocidad de los tres últimos apoyos Velocidad horizontal del penúltimo y último paso de carrera en mujeres	132
Tabla –3	Longitud de los tres últimos dos pasos en tres mujeres medallistas	136
Tabla –4	Longitud de los últimos pasos en Meyfarth	136
Tabla –5	Longitud de los dos últimos apoyos en tres hombres medallistas	137
Tabla –6	Frecuencia de paso	141
Tabla –7	Promedio de la frecuencia en los tres últimos apoyos de carrera	143
Tabla –8	Eficacia teórica en las distintas técnicas de salto	143
Tabla –9		161
Tabla -10	Valores para el radio de la curva	163
Tabla -11	Inclinaciones laterales en los últimos apoyos de carrera	173
Tabla -12	Longitud de los dos últimos pasos y su relación con la estatura del saltador	173
Tabla –13	Longitud de la última zancada de Conway	177
Tabla -14	Distancia de batida en hombres	178
Tabla -15	Distancia de batida en mujeres	187
Tabla -16	Separación del punto de batida	
Tabla -17	Características de la trayectoria de la carrera de nuestra muestra	189
Tabla –18	Radios de las curvas	195
Tabla –19	Radios de las curvas obtenidos por diferentes criterios de referencia	199 200
Tabla –20	Valor de Q a partir de los valores reales de nuestra muestra	
Tabla –21	Trayectoria del C.M. y de los apoyos	202
Tabla –22	Momentos angulares y radio de la curva	203
Tabla –23	Velocidades de entrada a la batida	204
Tabla -24	Evolución de la velocidad de carrera en categoría masculina	205
Tabla -25	Evolución de la velocidad de carrera en categoría femenina	207
Tabla -26	Evolución de la amplitud de zancada de carrera en hombres	208
Tabla -27	Evolución de la amplitud de zancada de carrera en mujeres	209
Tabla –29	Evolución de la frecuencia de zancada de carrera en hombres	210
Tabla –29	Evolución de la frecuencia de zancada de carrera en mujeres	211
Tabla –30	Evolución del tiempo de contacto en los seis últimos pasos de carrera en la categoría masculina	213
Tabla –31	Evolución del tiempo de contacto en los seis últimos pasos de carrera en la categoría femenina	214
Tabla -32	Trayectoria de la carrera de aproximación en hombres	215
Tabla -33	Trayectoria de la carrera de aproximación en mujeres	216
Tabla -34	Relación entre la trayectoria del C.M. y la de los apoyos en hombres	218
Tabla -35	Relación entre la trayectoria del C.M. y la de los apoyos en mujeres	219
Tabla -36	Longitud de los últimos pasos de la carrera en hombres	224
Tabla -37	Longitud de los últimos pasos de la carrera en mujeres	226
Tabla38	Valores de los ejes del pie de batida en hombres	227
Tabla -39	Valores de los ejes del pie de batida en mujeres	228
Tabla -40	Distancia del punto de batida respecto al listón en hombres	229
Tabla -41	Distancia del punto de batida respecto al listón en mujeres	230
CAPÍTULO	IV Estudio de la batida en el fosbury-flop	
Tabla -1	Altura del C.M. al inicio de la batida en el salto de altura	246
Tabla -2	Datos sobre la batida de la poseedora del récord mundial	253
Tabla -3	Contribución de los segmentos libres	269
Tabla -4	Datos cuantitativos de las muestras	209
Tabla -5	Datos cuantitativos de las muestras femeninas	272
Tabla -6	Tiempos de batida en hombres	277
	*	, ,

Tabla -7	Tiempos de batida en mujeres	279
Tabla -8	Altura del CM al inicio/final de la batida en categoría masculina	284
Tabla -9	Altura del CM al inicio/final de la batida en categoría femenina	288
Tabla -10	Angulaciones de la rodilla durante la batida en hombres	295
Tabla -11	Angulaciones de la rodilla durante la batida en mujeres	297
Tabla -12	Inclinaciones de las muestras masculinas	300
Tabla -13	Inclinaciones de las muestras femeninas	304
Tabla -14	Contribución de los segmentos libres en muestras masculinas	307
Tabla -15	Contribución de los segmentos libres en muestras femeninas	308
Tabla -16	Velocidades horizontales y verticales al inicio y final de la batida	320
Tabla -17	Ángulos y velocidad de despegue, altura máxima y del listón en hombres	323
Tabla -18	Energía cinética y potencial y diferencias	324
Tabla –19	Valores del Índice de transformación y pérdida de energía en hombres	326
Tabla –20	Valores sobre velocidades horizontales y verticales en mujeres	329
Tabla -21	Ángulos y velocidad de despegue, altura máxima y del listón en mujeres	330
Tabla –22	Energía cinética y potencial y diferencias en categoría mujeres	332
Tabla –23	Datos de Índice de transformación y pérdida de energía en mujeres	334

## ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTU	JLO I Material y Método	
Fig. 1	Ubicación de las cámaras en la pista durante la competición masculina y femenina	34
Fig. 2	Objeto de referencia para el proyecto de batida	43
Fig. 3	Objeto de referencia para el proyecto de carrera	44
Fig. 4	Representación de los marcadores	51
CAPÍTU altura	JLO II Características cronológicas, morfológicas y constitucionales del	saltador de
Fig. 1	Etapas de grandes logros deportivos	57
Fig. 2	Edad de los participantes en las Olimpiadas	65
Fig. 3	Pirámide del rendimiento	77
Fig. 4	Modelo de rendimiento deportivo	78
Fig. 5	Diversos aspectos para el rendimiento deportivo	78
Fig. 6	Estatura en diferentes modalidades deportivas	82
Fig. 7	Alturas parciales en el salto de altura	84
Fig. 8	Distribución del numero de saltadores por rango de estatura en hombres	88
Fig. 9	Relación entre la estatura y el diferencial marca/estatura en hombres	88
Fig. 10	Relación entre la estatura y el diferencial marca/estatura en mujeres	92
Fig. 11	Distribución del numero de saltadores por rango de estatura en mujeres	94
Fig. 12	Peso corporal en las diferentes disciplinas	102
Fig. 13	Saltadores con un mejor registro igual o superior a los 2.36 metros	106
Fig. 14	Saltadoras con un mejor registro igual o superior a los 2.00 metros	108
Fig. 15	Ejemplo de somatocarta	110 114
Fig. 16	Somatocarta de deportistas olimpicos	114
CAPITI	ULO III La carrera de aproximación en el fosbury-flop	
Fig. 1	Comportamiento de la frecuencia de paso	125
Fig. 2	Comportamiento del tiempo de contacto y de vuelo	138
Fig. 3	Valores de las medidas principales de la carrera de aproximación	143
Fig. 4	Diferencia teórica entre la altura del C.M. y la altura del listón	144
Fig. 5	Propuesta para la determinación de la carrera en curva	156
Fig. 6	Determinación del radio ideal de la trayectoria curva de la carrera	158
Fig. 7	Fuerzas aplicadas al suelo durante la carrera de aproximación a la batida	159
Fig. 8	Angulos formados entre la dirección final de carrera y la trayectoria del C.M.	165
Fig. 9 Fig. 10	Ejemplo de trayectoria de los apoyos y el C.M. en la carrera de aproximación Cronograma de los dos últimos apoyos	166 167
Fig. 11	Orientación del pie en la batida	172
Fig. 12	Trayectoria de los seis últimos pasos de la carrera en un salto 2.26 metros	184
Fig. 12	Trayectoria de los seis difinos pasos de la carreras de AO.	186
Fig. 14	Trayectoria de los últimos pasos de las carreras de IP.	186
Fig. 15	Trayectoria de los últimos pasos de las carreras de GB.	186
Fig. 16	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas AB.	187
Fig. 17	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas MP.	187
Fig. 18	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas CP.	187
Fig 19	Travectoria de los últimos pasos de la correra de los atletas ID	199

Fig. 20	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas RL.	188
Fig. 21	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas OG.	188
Fig. 22	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas EA.	188
Fig. 23	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas MM.	189
Fig. 24	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas CC.	189
Fig. 25	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas MMM.	189
Fig. 26	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas AM.	190
Fig. 27	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas CT.	190
Fig. 28	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas VF.	190
Fig. 29	Trayectoria de los últimos pasos de la carrera de los atletas AM.	190
Fig. 30	Relación entre velocidad de batida y radio de la curva	193
Fig. 31	Relación entre altura de salto y radio de la curva	193
Fig. 32	Evolución de la velocidad de la carrera en el grupo masculino	202
Fig. 33	Evolución de la velocidad de la carrera en el grupo femenino	203
Fig. 34	Evolución de la amplitud de los seis últimos pasos de los dos sexos	205
Fig. 35	Evolución de la frecuencia de los seis últimos pasos de los dos sexos	207
Fig. 36	Relación entre la amplitud de zancada y frecuencia de paso en los dos sexos	208
Fig. 37	Trayectoria de los seis últimos pasos de los dos sexos	213
Fig. 38	Inclinación lateral en la carrera en curva en hombres	216
Fig. 39	Inclinación lateral en la carrera en curva en mujeres	217
Fig. 40	Inclinación sagital en la carrera en curva en hombres	218
Fig. 41	Inclinación sagital en la carrera en curva en mujeres	219
CAPITI	ULO IV La batida en el salto de altura en el fosbury flop	
Fig. 1	Secuencia de una batida estilo fosbury-flop	230
Fig. 2	Dinamograma de la batida en un salto de longitud	233
Fig. 3	Dinamograma de los dos últimos apoyos en el fosbury flop	234
Fig. 4	Relación entre la velocidad vertical al final de la batida y la altura del C.M. al inicio de la misma	238
Fig. 5	Inclinación en el plano sagital y lateral	242
Fig. 6	Propuesta metodológica de Dapena	243
Fig. 7	Propuesta de Conrad y Rirzdorf	244
Fig. 8	Propuesta metodológica de nuestro estudio	245
Fig. 9	Diferentes distancias del C.M.	247
Fig. 10	Dinamograma de una batida y sus diferentes fases	249
Fig. 11	Dinamograma de una batida reactivo pendular	250
Fig. 12	Dinamograma de una batida de amortiguación acentuada	250
Fig. 13	Dinamograma de una batida con pierna libre en extensión	251
Fig. 14	Dinamograma de una batida de presión	251
Fig. 15	Subfase de amortiguación en la batida	259
Fig. 16	Registro EMG y dinamograma de la batida	260
Fig. 17	Secuencia del comportamiento del pie de batida en el fosbury-flop	261
Fig. 18	Modelo multiarticular para la batida	263
Fig. 19	Actividad de los brazos	267
Fig. 20	Técnica de brazos	268
Fig. 21	Ecuación de la relación entre altura máxima del C.M. y tiempo de batida en hombres	278
Fig. 22	Ecuación de la relación entre altura máxima del C.M. y tiempo de batida en mujeres	280
Fig. 23	Fotogramas de dos saltos con mayor elevaciçondel C.M. al inicio de la batida	285
Fig. 24	Altura del C.M. al inicio de la batida y la velocidad de despegue en hombres	285
Fig. 25	Relación entre la altura al inicio y al final de la batida en las muestras nacionales e internacionales	287
Fig. 26	Fotogramas de dos saltadores al inicio de la batida	289
Fig. 27	Fotogramas con excelente recorrido en la batida	290
Fig. 28	Ejemplo de un recorrido escaso en la batida	292
Fig. 29	Relación entre el recorrido del C.M. y la velocidad vertical	293
Fig. 30	Dos formas de abordar la batida	294
Fig. 31	Fotogramas que ilustra la amortiguación en la batida	396

Fig. 32	Fotogramas con escaso recorrido en la batida	298
Fig. 33	Inclinaciones en el plano sagital y frontal	299
Fig. 34	Ecuación de la relación entre altura máxima del C.M. y la inclinaciones en el plano frontal	301
Fig. 35	Ejemplo de saltadores con corto recorrido en los dos planos	303
Fig. 36	Fotograma con inclinaciones poco favorables en los dos planos	306
Fig. 37	Fotograma con poca traslación en los dos planos	306
Fig. 38	Contribución de los segmentos libres	309
Fig. 39	Contribución de los dos brazos en la batida	311
Fig. 40	Participación de cada brazo en la batida	312
Fig. 41	Participación de la pierna libre	313
Fig. 42	Relación entre velocidad horizontal y vertical en saltadores de diferentes niveles de rendimiento	315
Fig. 43	Velocidad horizontal y vertical y la resultante	317
Fig. 44	Secuencia de un salto de JR	319
Fig. 45	Ecuación que relaciona la altura máxima y la perdida de energía en hombres	325
Fig. 46	Ecuación que relaciona el índice de transformación y la perdida de energía	327
Fig. 47	Relación entre la altura máxima y la velocidad vertical	231
Fig. 48	Relación entre la altura máxima y la perdida de energía en mujeres	334
Fig. 49	Relación entre el índice de transformación y la perdida de energía	335

## ÍNDICE GENERAL

	<u>Págs.</u>
ANEXOS I	11
ANEXOS II	111
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
INTRODUCCIÓN	1
Justificación en interés personal entorno al tema	1
Tipo de estudio	3
Objetivos generales	5
Hipótesis	6
Organización de este trabajo de tesis	6
Algunas consideraciones	6
Sobre las características de los estudios realizados	9
METODOLOGÍA	
CAPÍTULO I Material y Método	
Antecedentes	13
Universo de estudio	15
Selección de la muestra objeto de estudio	18
Selección de la muestra de referencia	24
Instrumentos e infraestructura utilizados en el estudio	27
Material de grabación	27
Materiales utilizados en la reproducción de las imágenes	28
Material informático	28
Otros materiales	29
Recursos humanos utilizados en el trabajo de campo	29
Diseño experimental	30
Características de la competición	30
Tipo de competición	30
Protocolo de filmación	31
Ubicación de las cámaras	32
Frecuencia de muestreo	36
Desarrollo de la competición  Percedimiento acquido en el cuálicio tridina en cional	36
Procedimiento seguido en el análisis tridimensional	41
Captura de imágenes	41
Calibración del espacio Digitalización	42 45
Suavizado	45 46
· • · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	70

Cálculo de las coordenadas tridimensionales Análisis cinemática dinámico Representación gráfica Obtención de las variables Generación de datos Modelo del cuerpo humano Tratamiento estadístico	46 47 47 47 48 48 54
TRES ESTUDIOS FUNDAMENTALES	
CAPÍTULO II Características cronológicas, morfológicas y constitucionales del saltador/a de altura	
Importancia de las características cronológicas de los deportistas  Edad de máximos rendimientos en diferentes modalidades deportivas	56 56
Metodología	63
Estadística	64
Edad de máximos rendimientos en el salto de altura	64
Edad de los saltadores de altura participantes en los JJOO	66
Edad de los participantes en los Campeonatos del Mundo	67
Edad de los participantes en los Campeonatos de Europa	68
Edad de los saltadores que batieron el récord del mundo	69
Edad de los saltadores mejor clasificados en el ranking mundial	72
Características cronológicas de los saltadores/as de la muestra nacional	74
Importancia de las características morfológicas y constitucionales en el salto de altura: parámetros	76
que determinan el rendimiento de un deportista	<b>7</b> 0
Valoración de las características morfológicas y constitucionales de los deportistas	79
Metodología Introducción a las características morfológicas y constitucionales de los deportistas	80 81
La estatura como uno de los parámetros más relevantes para lograr elevados rendimientos deportivos	81
Importancia de la estatura en la prueba masculina de salto de altura	83
Diferencial entre la estatura del saltador y la altura del listón	87
Importancia de la estatura en la prueba femenina de salto de altura	89
Estatura de los saltadores masculinos utilizados en la muestra nacional	94
Importancia de los índices corporales en el salto de altura: índice de longitud del miembro inferior	99
Importancia del peso corporal y del índices peso/talla en el salto de altura	100
Îndice de corpulencia	102
El peso corporal y del índice peso/talla en los saltadores de altura de nivel internacional	105
El peso corporal y del índice peso/talla en las saltadoras de altura de nivel internacional	107
Importancia del peso corporal y del índices peso/talla en los saltadores de altura	109
Somatotipo de los mejores saltadores de altura	109
Estudio de la constitución de los deportistas olímpicos Conclusiones	111
Líneas de investigación	115 116
	110
CAPÍTULO III La carrera de aproximación en el fosbury-flop	
Fundamentación teórica	117
La velocidad en la carrera de aproximación	118
Comportamiento de la velocidad de la carrera de aproximación  Longitud de los apoyos de carrera	122 132

Frecuencia de zancada en la carrera de aproximación	136
Trayectoria que realiza el saltador para lograr la velocidad óptima de carrera y facilitar la colocación	141
del cuerpo respecto al listón	
Fases de la carrera	146
La parte recta de la carrera de aproximación	146
La parte curva de la carrera de aproximación	150
El radio de la carrera curva	153
Las inclinaciones durante la carrera en curva	159
El final de la trayectoria curva como responsable de la transición a la batida	161
Trayectoria de los apoyos finales de la carrera de aproximación	163
La preparación de la batida	167
Colocación del pie en el punto de batida	171
Distancia frontal de batida	174
Metodología	176
Muestra utilizada en el proyecto de batida	176
Material	176
Tratamiento estadístico	177
Cálculo de los radios	178
Resultados y discusión	179
Características de la carrera de los sujetos de nuestra muestra	180
Longitud y forma de la carrera	181
Separación lateral entre la carrera recta y la prolongación del listón	182
La forma utilizada en la trayectoria descrita en la carrera	185
El radio real de la curva utilizado en la carrera de aproximación	191
Validación de la propuesta de Dapena e Iiboshi con nuestra muestra. Análisis comparativo de la	194
ecuación para la determinación del radio óptimo	104
Análisis del criterio velocidad de carrera	194
Valor de Q a partir de los valores reales de nuestra muestra	196
Correlación del radio real con los ángulos t <sub>1</sub> y P <sub>1</sub>	197
Relación entre los momentos angulares frontales y laterales y el radio de la carrera curva	198 199
La velocidad de entrada a la batida y su relación con la altura de salto	201
Evolución de la velocidad en la carrera de aproximación La amplitud de las zancadas	201
La ampritud de las zancadas  La frecuencia de paso	204
Relación entre los tiempos de contacto y la frecuencia de paso	208
Trayectoria de los últimos apoyos de la carrera	210
Trayectoria de los últimos apoyos de la carrera y del C.M.	214
Las inclinaciones durante la carrera de aproximación	215
La preparación de la batida	219
La longitud de las dos últimas zancadas	220
La orientación de los apoyos en la batida.	222
La distancia frontal de la batida	225
Conclusiones	227
Líneas de investigación	229
CAPÍTULO IV Descripción y análisis de la batida en el fosbury-flop	
Fundamentación teórica	230
Objetivo de la batida	231
Desarrollo de la fuerza durante la batida: Generalidades	232
La medición de la fuerza desarrollada durante la batida	234
Descenso del C.M. al inicio de la batida	236
Influencia de las inclinaciones del tronco en la altura del C.M. al inicio de la batida	241
Procedimientos metodológicos en la estudio de las inclinaciones y traslaciones que realiza el cuerpo	242

lurante la batida	
Altura del C.M. al final de la batida	246
Tipos de batida	247
Fiempo de duración de la batida	252
La trayectoria del CM y el tiempo de batida	254
La fuerza desarrollada y el tiempo de batida	254
Comportamiento de la pierna de impulso durante la batida	258
Fase de amortiguación	261
Fase de impulso	264
Contribución de los segmentos libres en la batida	264
La importancia de los brazos en la batida	266
La implicación de la pierna libre en la batida	269
Metodología	270
Muestra utilizada en el proyecto de batida	270
Criterio para seleccionar la muestra de referencia	272
Material y método	272
Resultados y discusión	273
Tratamiento estadístico	274
Estudio de la duración de la batida	275
Estudio de la duración de la batida en la muestra de saltadores españoles	275
Estudio de la duración de la batida en la muestra de saltadoras españolas	278
Conclusiones	281
Recorrido del C.M. durante la batida	281
Altura del C.M. al inicio y el final de la batida (hombres)	282
Altura del C.M. al inicio y el final de la batida (mujeres)	288
Recorrido vertical que realiza el C.M. durante la batida (hombres)	289
Recorrido vertical que realiza el C.M. durante la batida (mujeres)	291
Flexión de la articulación de la rodilla de pierna de batida durante el último apoyo (hombres)	293
Flexión de la articulación de la rodilla de la pierna de batida durante el último apoyo (mujeres)	297
Inclinación del saltador al inicio de la batida (hombres)	298
Inclinación del saltador al inicio de la batida (mujeres)	303
Contribución de los segmentos libres en la batida	307
Implicación de los brazos en la batida	310
Contribución de la pierna libre en la batida	312
Conclusiones	314
Velocidad del C.M. durante la batida	314
Comportamiento de la velocidad del C.M. durante la batida (hombres)	317
La velocidad horizontal del C.M. durante la batida (hombres)	318
La velocidad vertical del C.M. durante la batida (hombres)	320
La velocidad de proyección del C.M. al final de la batida (hombres)	322
Comportamiento de la velocidad del C.M. durante la batida (mujeres)	327
Comportamiento de la componente horizontal de la velocidad del C.M. durante la batida (mujeres)	327
Comportamiento de la componente vertical de la velocidad del C.M. durante la batida (mujeres)	329
Comportamiento de la componente vertical de la velocidad del C.M. al final de la batida (mujeres)	331
Conclusiones	335
Líneas de investigación	337
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	336
ÍNDICE DE TABLAS	353
ÍNDICE DE FIGURAS	356
MINICE GENERAL	250