

## **PLATAFORMA DE FUERZAS:**

**Un ejemplo práctico de su utilización en el análisis de las técnicas deportivas**

*Carlos Sebastián López*

*Enrique Navarro Cabello*

*Enrique González Candelas*



### **1. INTRODUCCIÓN**

La investigación en el campo del alto rendimiento pasa por el análisis exhaustivo de las técnicas deportivas, tanto desde el punto de vista general (elaboración de una serie de patrones motores considerados idóneos, que conforman la técnica) como particular (evaluación de la técnica individual de los deportistas para su posterior corrección y mejora atendiendo a las condiciones particulares de cada atleta).

En el campo de la Biomecánica, al que se refiere este artículo, la investigación precisa, en la mayor parte de los casos, de una instrumentación cuyo coste suele estar por encima de los presupuestos que, a este campo, se dedican por parte de las entidades públicas y privadas.

El problema se ve agravado por la falta de tecnología propia y la necesidad de importar este tipo de material, lo que aumenta aún más su coste intrínseco.

Estos problemas empiezan a paliarse gracias al esfuerzo de aquéllos que, creyendo en la necesidad de este tipo de investigación, se están dedicando al desarrollo de una tecnología que nos permita contar con instrumentos de uso ya corriente en otros países, así como llevar a cabo otros nuevos que vayan surgiendo de las necesidades específicas de cada proyecto. Este es el caso del Instituto de Biomecánica perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia, diseñadores y constructores de la Plataforma de Fuerzas MAN, con la que cuenta el INEF de Madrid gracias a su adquisición por el Instituto de Ciencias de la Educación Física y el Deporte.

## 2. POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE FUERZAS

En general, las plataformas de fuerzas han venido siendo usadas en el estudio de los saltos (longitud, triple, altura, saltos de trampolín y palarca, acrobacias gimnásticas, etc.). Siendo ésta una de las aplicaciones más claras y evidentes de este aparato, las posibilidades se extienden a toda técnica deportiva cuyas fuerzas sobre el plano de apoyo tengan relevancia en su evaluación. La halterofilia sería un ejemplo claro de este tipo de técnicas.

Con una plataforma de fuerzas podemos obtener, a grandes rasgos, la siguiente información:

### Cuantitativa:

- Tiempo en que está actuando la fuerza objeto de estudio.
- Variación de esta fuerza con respecto al tiempo (curvas Fuerza-tiempo).
- Uso de las curvas Fuerza-tiempo para el cálculo de otros parámetros: impulso mecánico, velocidad del centro de gravedad, etc.

### Cualitativa:

- Comparación de diferentes curvas F-t realizadas por el mismo deportista usando diferentes variaciones de la técnica.
- Comparación de diferentes curvas F-t realizadas por distintos deportistas ejecutando el mismo gesto técnico.
- Utilización conjunta con otros sistemas de toma de datos (método cinematográfico) para la obtención de modelos matemáticos de la técnica y la simulación de nuevas variaciones.
- Análisis de la continuidad en la aplicación de las fuerzas. Este dato, junto con el de la magnitud de la fuerza aplicada en cada instante, nos puede proporcionar información acerca del estado de los grupos musculares que están actuando.
- Por último, las curvas F-t sirven para desarrollar criterios para la evaluación de la ejecución y el desarrollo de la técnica.

## 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

### Descripción de la Plataforma de Fuerzas MAN

MAN es una plataforma de fuerzas que permite la medida, registro y análisis de las fuerzas generadas en ejecuciones deportivas.

El sistema está constituido por los siguientes componentes:

- Plataforma de fuerzas.
- Equipo de adquisición de datos.
- Ordenador.
- Impresora.
- Disco de programas
- Manuales.

La plataforma de fuerzas consta de dos placas de aleación de aluminio unidas entre sí por medio de cuatro captadores de fuerza tridimensionales. La superficie útil de medida es de 600 x 450 mm y la altura total de 72 mm.

Los captadores están contruidos en acero inoxidable con geometría en forma de anillo octogonal e instrumentados con galgas extensométricas de forma que permitan construir ocho puentes de medida de fuerzas:

- 4 fuerzas verticales correspondientes a cada captador: Fz1, Fz2, Fz3, Fz4.
- 2 fuerzas anteroposteriores: Fx12 y Fx34.
- 2 fuerzas transversales Fy13 y Fy24.

Cada captador está dotado de dos galgas que configuran dos puentes de medida: uno para la fuerza vertical y otro para la fuerza horizontal.

A partir de las fuerzas medidas es posible evaluar las tres componentes de la resultante de las fuerzas (Fx, Fy, Fz, el par torsor en el plano horizontal (Tz) y el punto de aplicación de la resultante (x,y), por medio de las expresiones:

$$F_x = F_{x12} + F_{x34}$$

$$F_y = F_{y13} + F_{y24}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4}$$

$$x = \frac{(F_{z2} + F_{z4}) \cdot a - F_y \cdot h}{F_z}$$

$$y = \frac{(F_{z1} + F_{z2}) \cdot b - F_x \cdot h}{F_z}$$

$$T_z = F_{x12} \cdot b + F_{x34} \cdot x - F_{y24} \cdot a - F_y \cdot y$$

Siendo "a" la distancia anteroposterior entre captadores, "b" la distancia transversal entre captadores y "h" la distancia vertical entre la superficie de apoyo y el centro de cálculo del captador.

Las señales generadas por la plataforma serán amplificadas para su posterior multiplexado y conversión digital bajo el control del ordenador. De esta forma, la información vinculada a la magnitud, dirección y punto de aplicación de la fuerza realizada sobre la plataforma, será almacenada en la memoria del ordenador.

### Prestaciones:

- Velocidad de muestreo programable desde 1 a 1.000 muestras por segundo y canal.
- Tiempo mínimo entre muestras = 1 ms.
- Tiempo total de medida determinado por un número total de 1.000 muestras por canal.
- Precisión de 0.39% en la medida de fuerzas.
- Frecuencia natural de vibración superior a 400 Hz.

### Utilización:

La utilización de la plataforma se hace por medio de un microordenador con microprocesador 8086 funcionando a 8 Mhz y monitor gráfico de color y alta resolución.

El programa permite la medición y obtención de datos, su almacenamiento en disco y el tratamiento y representación gráfica o numérica en pantalla o impresora.

Para la medición se permiten tres modos de disparo: uno por teclado, otro automático por inicio de la carga y un tercero por control de una señal externa (típicamente, una célula fotoeléctrica).

Para la salida de resultados se dispone de cuatro opciones gráficas, la opción de resultados numéricos y el cálculo directo del impulso mecánico.

– La opción de *gráficas fuerza-tiempo* muestra cuatro curvas correspondientes a las tres componentes de la fuerza y el momento torsor en el plano horizontal, en función del tiempo.

– La opción de *gráficas distancia-tiempo* ofrece las curvas de las dos componentes del punto de aplicación de la fuerza en función del tiempo.

– La *gráfica del punto de aplicación* muestra como evoluciona éste sobre una reproducción de la superficie de apoyo de la plataforma.

– En la *gráfica de fuerzas 3D* se muestra una perspectiva de la representación vectorial de la fuerza aplicada sobre la traza del punto de aplicación dibujada también sobre la plataforma.

En las gráficas se tiene la posibilidad de configurar la imagen, alterando los valores mínimos y máximos en abscisas y ordenadas, la posición de los ejes de coordenadas, los textos y el formato de los números. También se puede obtener una copia impresa y se puede mover un cursor sobre la gráfica con indicación en la ventana superior derecha

de los valores asociados a esa posición del cursor.

– Mediante la opción de *resultados numéricos* por muestra la información, en forma numérica, de fuerzas, momento torsor, distancias y tiempo. Este conjunto de datos permite calcular otros parámetros no considerados por el programa y la cuantificación de la información mostrada en las gráficas.

– La opción de *cálculo del impulso mecánico* proporciona los valores de éste en los tres ejes y el valor total entre los instantes definidos previamente.

### Configuración:

El programa permite la configuración del equipo, definiendo el valor de todos sus parámetros básicos, tanto de cálculo como de representación.

## 4. EJEMPLO PRÁCTICO. VERIFICACIÓN DEL PRINCIPIO DE LA FUERZA INICIAL

Como claro ejemplo de aplicación de la plataforma de fuerzas se ha elegido la realización de un salto vertical a pies juntos efectuado con tres técnicas diferentes. Mediante el análisis de los resultados de estos tres saltos se va a intentar verificar el principio de la fuerza inicial enunciado por Hochmuth (1973).

Este principio afirma que "un movimiento con el que debe lograrse una elevada velocidad final (el salto, el lanzamiento, etc.) debe ir precedido de un movimiento de impulso que va en sentido contrario. Mediante el frenado del movimiento en sentido contrario, el comienzo mismo del movimiento propiamente dicho, se dispone ya de una fuerza positiva para la aceleración, cuando la transición se realiza fluidamente. Con esto, el impulso total de aceleración es mayor. La relación entre los impulsos de frenado y de aceleración tiene que ser óptima.

A causa de las particularidades biomecánicas del aparato locomotor humano y de las condiciones biológicas de las contracciones musculares, el máximo de fuerza debe alcanzarse dentro de la fase del impulso de aceleración".

### 4.1. Realización de la prueba

Se realizaron tres saltos verticales: El primero (SALTOV1) sin movimiento previo (extensión vigorosa de los dos miembros inferiores partiendo desde flexión de rodillas). El segundo (SALTOV2) se llevó a cabo desde una posición de partida

con las rodillas en extensión y los brazos al frente. Desde esta posición se realizó una flexión de rodillas para extender éstas a continuación, pasando de uno a otro movimiento sin detenerse (fluidamente). Este movimiento se acompañó de un balanceo de brazos.

El tercero (SALTOV3) se realizó con la misma técnica que el segundo, pero efectuando una flexión profunda de piernas.

En los tres, la caída se realizó sobre la misma plataforma.

Se configuró la toma de datos con los siguientes valores:

– Frecuencia de muestreo (tiempo entre muestras) = 4 ms.

– Número total de muestras = 500.

Estos dos parámetros nos determinan un tiempo total de medida de 2 segundos, el cual da un margen de tiempo suficiente para la realización del salto.

#### 4.2. Resultados y discusión

A continuación se exponen las tres curvas F-t correspondientes a los tres saltos efectuados así como una muestra de la salida de resultados numéricos obtenidos, en este caso, para mayor brevedad, cada 40 ms y el cálculo del impulso mecánico en los tres ejes y total.

##### CURVAS Fuerza-tiempo

En las curvas F-t se ha señalado mediante una línea horizontal la fuerza correspondiente al peso del individuo (662 N.). El impulso mecánico, como es sabido, se identifica en las gráficas F-t como el área comprendida entre la curva y el eje de abscisas. La fuerza que impulsa al saltador hacia arriba es la resultante de restar la fuerza vertical que registra la plataforma del peso:

$$Frz = Fz - P$$

– La gráfica de SALTOV1 debería haber consistido en un aumento de la fuerza (coincidente con el instante en que el individuo comienza a extender las rodillas) para disminuir a continuación, a medida que el c.d.g. se va elevando hasta llegar al despegue, momento en que el registro de fuerza vertical se debe hacer cero.

No obstante, se observa que ha habido un pequeño descenso involuntario del c.d.g. que se repitió a pesar de que se llevaron a cabo tres intentos.

La posible explicación a este hecho podría consistir en que el conocimiento previo por parte del sujeto de la técnica más correcta hace que ésta se efectúe inconscientemente.

– En el segundo salto (SALTOV2) inicialmente, el sujeto relaja los grupos musculares que mantienen la posición erecta, de forma que el c.d.g. desciende. La fuerza que registra en esos momentos la plataforma es de menor magnitud que el peso. Para frenar el descenso, el individuo vuelve a contraer los grupos musculares que relajó, con lo cual la fuerza que registra la plataforma aumenta. El movimiento descendente cesa cuando el impulso resultante de las fuerzas superiores al peso se iguala con el de las inferiores al peso. Al impulso mecánico positivo que detiene el descenso del c.d.g., haciendo que el impulso resultante vertical sea nulo en ese instante se le denomina "impulso de frenado".

De esta forma se consigue que, cuando comienza el impulso de aceleración propiamente dicho, exista ya una fuerza inicial positiva que conseguirá que dicho impulso sea mayor que si no hubiera existido este movimiento previo de flexión de piernas en sentido contrario al movimiento definitivo del salto.

Este hecho tiene su fundamento fisiológico en el *reflejo miotático*, que consiste en la contracción automática de un músculo cuando éste es elongado. En este caso, el cuádriceps se contrae cuando es elongado al flexionar las rodillas.

– En el tercer salto (SALTOV3) se realiza una flexión profunda de piernas, lo que origina un brusco descenso del c.d.g. que precisa de un impulso de frenado demasiado grande. De hecho, la fuerza vertical de mayor magnitud se produce dentro del impulso de frenado, para detener el descenso del centro de gravedad. Puesto que la máxima fuerza que puede desarrollar un músculo no puede ser mantenida indefinidamente, durante el impulso de aceleración, esta fuerza disminuye, dando como resultado un impulso de aceleración de menor magnitud que en el salto anterior.

Esta explicación teórica se ve corroborada por los resultados obtenidos, que se exponen a continuación: (ver artículo catalán).

La velocidad vertical de despegue y la altura de cada salto se ha calculado a partir de las expresiones:

$$V_y = \frac{I_{zr}}{m} \quad h = \frac{V_y^2}{2g}$$

$$I_{zr} = \text{Impulso resultante} \\ 0$$

P

$$m = \text{masa} = \frac{P}{g}$$

El salto con el que se ha conseguido mayor impulso vertical es el denominado SALTOV2 y, por lo tanto, el salto con mayor velocidad de despegue y el que más altura ha alcanzado (44.1 cm). Además, la fuerza máxima se ha producido dentro del impulso de aceleración.

El salto que se realizó directamente desde flexión de rodillas (SALTOV1) pese a ser realizado sin movimiento previo es más eficaz que el que se realizó con un movimiento de flexión profunda (SALTOV3) pues, aunque no cuenta apenas con fuerza inicial para su realización, la fuerza aumenta de forma continua, lo que no ocurre con SALTOV3, en el que se necesitó un impulso de frenado demasiado grande. Así pues, el impulso de aceleración, la velocidad de despegue y la altura del salto (35.5 cm) fueron mayores que los de SALTOV3 que tan sólo alcanzó 24.5 cm.

Por último, mostramos sobre la gráfica de SALTOV2 la correspondencia entre la curva F-t, la variación de la velocidad del c.d.g. con respecto al tiempo, la posición aproximada del saltador en los instantes más significativos y la explicación de cómo se produce el salto. La curva Velocidad-tiempo se ha obtenido tomando como dato el impulso en cada instante significativo.