

“MEDICIÓN DE LA FUERZA Y POTENCIA MUSCULAR DEL SALTO VERTICAL CON SENTADILLA HACIENDO USO DEL SOFTWARE ANALIZADOR DE VIDEOS TRACKER”

M, Chávez B¹, A, Carranza C.², R, Rojas A³, J. Gavidia I.⁴, M, Tantaquispe C.⁵
Departamento Académico de Física^{1,2,3,4,5}. Universidad Nacional de Trujillo.
mchavezb@hotmail.com, angelcar_unt@yahoo.com, rojasalegra@yahoo.com,
jrgavidiai@hotmail.com, merardo_77@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se usó el programa analizador de videos Tracker para estudiar el salto vertical con sentadilla realizada por una persona. El salto fue filmado e importado a Tracker donde se construyó el modelo cinemático de salto. A partir del modelo determinamos la altura máxima que alcanza el centro de gravedad del saltador y los valores promedio de fuerza y potencia muscular desarrollados. La simplicidad del método, su bajo costo y la diversidad de variables físicas involucradas hacen que su aplicación sea apropiada no solo en cursos introductorios de física, sino también en pruebas de salto de diferentes disciplinas deportivas.

PALABRAS CLAVE: Salto vertical con sentadilla, fuerza y potencia muscular, Tracker.

ABSTRACT:

In this work, the Tracker video analyzer program was used to study the vertical jump with squat performed by a person. The jump was filmed and imported into Tracker where the jumping kinematic model was built. From the model we determine the maximum height reached by the center of gravity of the jumper and the average values of strength and muscle power developed. The simplicity of the method, its low cost and the diversity of physical variables involved make its application appropriate not only in introductory physics courses, but also in jumping tests in different sports disciplines.

KEY WORDS: Vertical jump with squat, strength and muscle power, Tracker.

I. INTRODUCCIÓN

Para un deportista, y en general para una persona, un salto vertical es el acto de levantar el centro de gravedad lo más alto en la dirección vertical únicamente con el uso de los propios músculos. El salto vertical puede ser realizado desde el reposo o con carrera inicial para añadir energía y alcanzar mayor altura, pero el salto desde el reposo es el que más se utiliza como una medida oficial para los atletas. Algunos deportes en los que se mide la fuerza y potencia muscular en un salto vertical son; atletismo, básquet, fútbol y voleibol.

La fuerza muscular es uno de los factores de rendimiento esenciales en cualquier disciplina deportiva la cual se manifiesta por la movilización del aparato locomotor, conformado por un elemento pasivo, representado por las palancas óseas, articulaciones o centros de movimiento y haces ligamentosos

como estructuras de salvaguarda de dichos centros de movimiento; y un elemento activo, constituido por el sistema neuromuscular, capaz de generar fuerzas internas en virtud de procesos de naturaleza fisiológica (Farías D et al, 2016; Bosco C et al, 1983).

Un gran número de actividades deportivas involucran patrones de movimiento de breve duración y alta intensidad. Tales actividades musculares son de tipo anaeróbicas, como lo son el básquet, fútbol, voleibol y otras. Por naturaleza, estos eventos deportivos se caracterizan por periodos de actividad moderada (o de reposo) intercalado por esfuerzos súbitos máximos. Comúnmente, estos tipos de actividades requieren un desarrollo explosivo de energía durante periodos de tiempo menores a los sesenta segundos (Maud P et al, 2006).

La producción de fuerza está basada en las posibilidades de contracción de la musculatura esquelética. Dicha contracción se genera en virtud de la coordinación de las moléculas proteicas contráctiles de actina y miosina dentro de las unidades morfo funcionales descritas en las fibras musculares (sarcómeras). Sin embargo, la relación existente entre la tensión muscular generada y la resistencia a vencer, van a determinar diferentes formas de contracción o producción de fuerza.

Dentro de ellas, la fuerza explosiva está caracterizada por la capacidad del sistema neuromuscular para generar una alta velocidad de contracción ante una resistencia dada, participando directamente los elementos elásticos de las fibras musculares (García L et al, 2005).

Existen diferentes pruebas de valoración para la determinación de la fuerza muscular, pero el más difundido es el test de la fuerza explosiva o test del salto vertical con sentadilla

Test de salto vertical con sentadilla o “Squat Jump”.

Es una prueba que valora la fuerza explosiva. El sujeto ha de efectuar un salto vertical máximo partiendo con rodillas flexionadas a 90° con el tronco recto y las manos colocadas a la altura de la cintura (el salto se realiza sin contramovimiento ni ayuda de los brazos, figura 1).

Condiciones de ejecución:

1. Es preciso efectuar un buen calentamiento de la musculatura extensora de las piernas.
2. Ejecutar el test en ausencia total de fatiga.
3. No se debe permitir el contramovimiento de piernas, ya que es una prueba que valora la fuerza explosiva en ausencia de elementos elástico-reactivos.
4. La planta de los pies ha de permanecer durante la fase de impulso pegada al suelo.
5. No debe haber deslizamiento de la planta de los pies, respecto al piso. (Linthorne P 2001).

En la fig. 1 se indica con números los instantes claves del salto. El movimiento debe ser tal que el centro de gravedad (CG) se mueve en todo instante en la dirección vertical. Con el número cero, “0”, se indica la posición inicial (rodillas flexionadas a 90°) y en reposo. En la posición 1, el CG se eleva con su máxima aceleración. La posición 2 corresponde al instante en el cual el CG alcanza su

velocidad máxima y en la posición 3, se produce el despegue, es decir, los pies del saltador justo pierden el contacto con el piso.

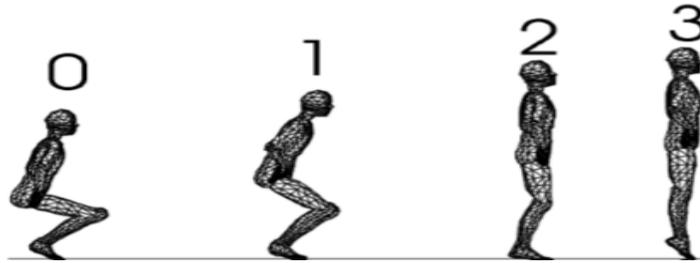


Fig.1 Secuencia de acciones en un salto con sentadilla. El centro de gravedad del saltador se mueve en la dirección vertical. El saltador se muestra en tiempos clave durante el salto, como se indica con los números.

RELACIONES CINEMÁTICAS Y DINÁMICAS USANDO EL MODELO PUNTUAL DE LA MASA CORPORAL

Considerando la masa del cuerpo humano concentrado en un punto, de modo que, la fuerza resultante debido a las fuerzas de gravedad actúa en ese punto, es decir, en el centro de gravedad del cuerpo humano (CG), el conjunto respectivo de ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden que describen la dinámica del sistema puede derivarse y usarse para simular movimientos para condiciones iniciales dadas (Hatze H, 1980). Así, las ecuaciones diferenciales de movimiento pueden solucionarse, si se conocen las coordenadas del CG, sus derivadas temporales de primer y segundo orden, las fuerzas externas y otras cantidades observables y a partir de ellos determinar la fuerza y potencia muscular que caracterizan el rendimiento de un salto vertical.

Existen diferentes métodos para determinar la posición del CG. En un método sencillo para determinar la distancia desde los pies hasta el CG la persona se acuesta en posición cubito dorsal sobre una barra homogénea rectangular de madera de longitud conocida, L . La barra descansa sobre dos balanzas ubicadas simétricamente en los extremos de la barra, como se muestra en la figura 2.

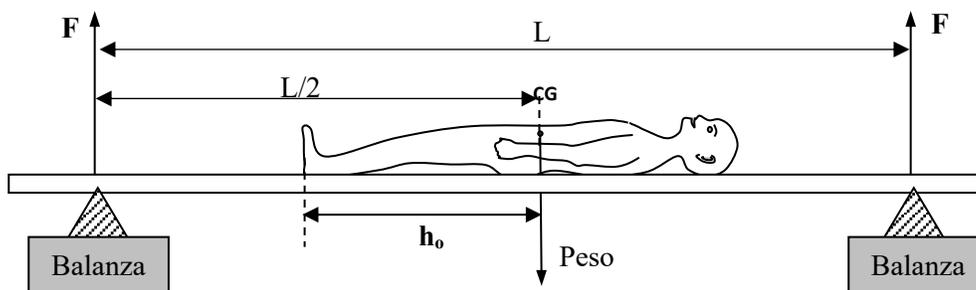


Fig.2 Esquema experimental para medir la distancia desde los pies hasta el CG del saltador.

Manteniendo la posición cubito dorsal, la persona se desplaza a lo largo de la barra hasta que las balanzas indiquen el mismo valor y entonces los centros de gravedad de la barra y de la persona se

encuentran sobre la misma vertical. Como el centro geométrico de la barra es conocido, con una cinta métrica se mide la distancia de los pies al centro de la barra, lo cual nos da el valor de la distancia desde los pies hasta el CG de la persona.

El salto vertical con sentadilla desde el punto de vista cinemático es un movimiento de tiro vertical con una velocidad de lanzamiento generado por la acción muscular. Típicamente se observan en el salto dos etapas: *La etapa de propulsión*, en la que el saltador flexiona sus piernas bajando su centro de gravedad una cierta distancia, y es desde ésta posición desde la cual se inicia el salto hacia arriba. En ésta etapa la acción muscular genera una fuerza de presión resultante sobre el piso y por el principio de acción y reacción el piso responde con una fuerza vertical que impulsa el cuerpo hacia arriba. Justo a partir del instante en que los pies pierden el contacto con el piso (despegue) empieza la *Etapa de vuelo*. En esta etapa el saltador se mueve en el aire como un proyectil disparado verticalmente hacia arriba. En este movimiento el CG del saltador se habrá elevado una altura máxima a partir de su posición erguida normal de pie (Gonzales C et al, 2008).

La figura 3 muestra el contorno de un sujeto que realiza un salto vertical con las manos en las caderas. El vector de posición $\mathbf{r}_{CG} = (x, y)$ del centro de gravedad del cuerpo, CG, se toma con relación al sistema de coordenadas XY. Los vectores de fuerza externa que actúan sobre el modelo de masa puntual son el peso $\mathbf{P} = -Mg \mathbf{j}$, y el vector fuerza de reacción del suelo $\mathbf{F}_N(t) = (F_x(t), F_y(t))$.

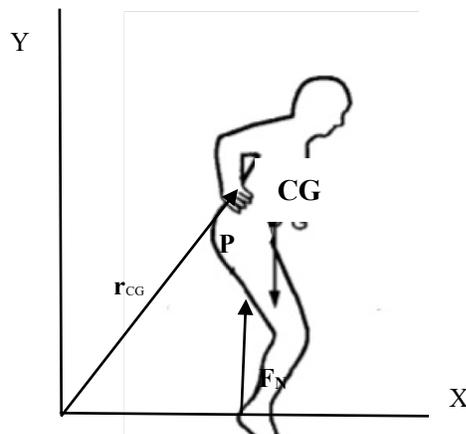


Fig. 3 Diagrama esquemático de la representación del vector de posición del CG del cuerpo y los vectores fuerzas externas que actúan sobre el sujeto que efectúa un salto vertical.

Aplicando la segunda ley de Newton obtenemos las ecuaciones dinámicas de movimiento para el centro de gravedad CG:

$$F_x = M \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1)$$

$$F_N - Mg = M \frac{d^2y}{dt^2} \quad (2)$$

Donde d^2x/dt^2 , $d^2y/dt^2/dt^2$ son las aceleraciones, M es la masa del sujeto, y g la aceleración de la gravedad. En la mayoría de los casos, los saltos se ejecutan de forma bastante vertical, de modo que los componentes en las otras direcciones de la fuerza de reacción del suelo son insignificantes y solo la ecuación 2 es importante (Hatze H, 1998).

En los diferentes métodos de evaluación del salto vertical se considera que los momentos musculares internos junto con las fuerzas gravitacionales generan fuerzas de reacción del suelo que se pueden medir directamente, por ejemplo, el método de plataforma de fuerza.

A partir de la ecuación (2), la fuerza de reacción normal F_N , que es igual a la fuerza de la acción muscular sobre el piso es:

$$F_N = Mg + ma_y \quad (3)$$

Así, si se conoce la aceleración en la etapa de propulsión a_y es posible conocer la fuerza debido a la acción muscular.

El trabajo realizado por la acción muscular se puede obtener multiplicando la fuerza F_N por la distancia vertical de ascenso del centro de gravedad en la etapa de propulsión, d .

$$W = F_N d, \quad (4)$$

La potencia muscular se define como la habilidad para ejercer una fuerza muscular máxima durante el menor tiempo posible. La capacidad de un individuo para llevar a cabo un ejercicio desarrollando fuerzas de alta intensidad y de corta duración, se conoce como capacidad, o aptitud, anaeróbica. Existen pruebas que miden la capacidad máxima del músculo humano para generar potencia durante actividades motrices de alta intensidad y corta duración (Harman E et al, 1991; Sale D et al, 2004).

Si $t_{propulsión}$ es el tiempo transcurrido desde el inicio del salto hasta el instante del despegue, la Potencia mecánica promedio desarrollado por la acción muscular viene dada por,

$$P = \frac{W}{t_{impulso}} \quad (5)$$

La integración de la ecuación (2) una vez produce la velocidad vertical v_y del CG como

$$v_y(t) = v_{0y} + \int_{t_0}^t \left[\frac{F_N}{M} - g \right] dt, \quad (6)$$

con v_{y0} punto que denota la velocidad vertical inicial en $t = t_0$. Una segunda integración da la posición vertical $y(t)$ del CG como

$$y(t) = y_0 + \int_{t_0}^t v_y dt, \quad (7)$$

donde y_0 es la posición inicial del CG en $t = t_0$.

Si se conoce la altura h_0 del CG en la posición de pie del saltador y la máxima altura que alcanza el centro de gravedad medida desde el piso, $h_{m\acute{a}x}$, se puede determinar la altura, Δh , que se eleva el CG durante el salto. Así,

$$\Delta h = h_{m\acute{a}x} - h_0 \quad (8)$$

Existen métodos simples para medir tanto la fuerza como la potencia muscular en el salto vertical (Bosco C et al, 1983; Peña G et al, 2017), en los cuales el deportista se apoya sobre un piso plano (como el piso del gimnasio) e indirectamente se determinan las posiciones inicial y final del centro de gravedad, por ejemplo registrando el descenso de la coronilla al ponerse en la posición inicial del salto y registrando con un lápiz en la mano y con el brazo extendido verticalmente la altura que asciende la mano, que sería igual a la que asciende el centro de gravedad.

Existen también otros métodos más complejos, donde se utiliza sensores y una fuente laser; el atleta durante el salto interrumpe el haz de luz láser y es así como se registra la máxima altura que se eleva o mediante la utilización de plataformas de fuerza y tablas piezoeléctricas para obtener una relación de fuerza tiempo que dé como resultado el impulso mecánico producido así como la determinación de la velocidad vertical de despegue y, consecuentemente, la altura alcanzada por el centro de gravedad (Peña G et al, 2017; García L et al, 2005).

La medición de la fuerza y potencia muscular haciendo uso de los métodos simples son baratos pero los resultados no son muy confiables y precisos y por otro lado los métodos complejos son más confiables y de mayor precisión, pero al mismo tiempo son muy costosos; los sistemas comerciales de plataformas de fuerza para el análisis de movimiento humano cuestan de \$ 10 000 a \$30 000 dólares (Peña G et al, 2017). En este trabajo se ha diseñado e implementado una prueba de salto con sentadilla para determinar la fuerza y potencia muscular de una persona haciendo uso de Tracker, el cual es un programa gratuito de análisis de video y construcción de modelos hecho en el entorno Java del proyecto Open Source Physics que incluye como características; seguimiento de objetos y su posición, velocidad y aceleración, gráficos y modelos dinámicos de objetos (Brown D and Cox A J , 2009). Esto nos permitió construir las ecuaciones cinemáticas del movimiento del centro de gravedad de una persona en un salto vertical y a partir de ellas conocer con precisión la máxima altura que alcanza, así como los valores promedios de la fuerza y potencia muscular desarrollados en el salto.

La simplicidad de la adquisición de datos, mediante la filmación de un fenómeno vía una cámara de video, permitió que los ensayos se realicen de una manera rápida, económica y muy precisa.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Objeto de estudio

Estudiante del X ciclo de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas-UNT.

Masa: 68,0 Kg

Talla: 1,771 m

Edad: 24 años

Variables independientes: tiempo.

Variables dependientes: Altura del salto, fuerza y potencia muscular.

2.2. Instrumentación

Balanza analógica de baño LUXXE (0-120 Kg), usada en la medición de la masa del estudiante y en la determinación del CG del estudiante.

Wincha STANLEY, 0,1 cm, para medir la talla del estudiante.

Barra prismática de madera (caoba) de 260,0 x25,0x3,0 cm³, para determinar el CG del estudiante.

Cámara de video GOPRO HERO 6, 12MP, FULL HD, graba a 1080p y 120 FPS, para filmar el salto vertical del estudiante.

Software para análisis de video Tracker (0,01 cm, 0,001 s).

2.3. Métodos y técnicas

Se invitó a seis estudiantes de la Escuela Profesional de Física, quienes practican el fútbol en sus momentos libres, a realizar el ensayo del salto vertical con sentadilla (Squat Jump Test); todo ellos fueron instruidos previamente en las características del salto que deberían realizar. De los seis estudiantes, se seleccionó a uno de ellos, quien era el que mejor ejecutaba los saltos.

Primero se determinó la altura exacta del centro de gravedad del estudiante cuando éste mantiene la posición de bipedestación (de pie). Esto se hizo usando dos balanzas analógicas de baño y el arreglo experimental que se muestra en la figura 2. Para el posterior video análisis del salto vertical con tracker, se fijó un sticker de papel (de color rojo, de forma circular y de 2,0 cm de diámetro) a la camiseta del estudiante justo a la altura del centro de gravedad (CG), de modo que se encuentre en una posición visible a la lente de la cámara durante la ejecución del salto.

Luego, haciendo uso de la video cámara GOPRO HERO 6, se filmaron diferentes saltos verticales en la modalidad del salto vertical con sentadilla (Squat Jump). De los diferentes ensayos filmados se seleccionó cuidadosamente el video del salto en el cual el estudiante lo realizó cumpliendo con las

especificaciones para ser considerado como una ejecución correcta del salto vertical con sentadilla. Finalmente, el video seleccionado se importó al software tracker para el registro de las variables cinemáticas y dinámicas del salto.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Haciendo uso de las herramientas que nos ofrece Tracker para la captura de datos experimentales y modelamiento, construimos las ecuaciones paramétricas que relacionan las coordenadas de posición del centro de gravedad y el tiempo. En la figura 4 se muestran los parámetros y las ecuaciones para las etapas de propulsión (x_1, y_1) y de vuelo (x_2, y_2).

The screenshot shows the Tracker software interface for creating a kinematic model. The window title is 'Constructor de modelos: Kinematic Particle'. At the top, there are input fields for 'Inicio' (344), 'Fin' (656), and 'Launcher' (none). The model name is 'SALTO VERTICAL-MODELO'. Below this, there are three sections: 'Parámetros', 'Valores Iniciales', and 'Funciones de Posición'. Each section has a table with 'Nombre' and 'Expresión' columns.

| Nombre | Expresión |
|--------|-----------|
| m | 1 |
| A1 | 822,2 |
| B1 | -330,4 |
| C1 | -26,24 |
| D1 | 2,968 |
| A2 | -1,4100E3 |
| B2 | 926,2 |
| C2 | 67,18 |
| D2 | 75,35 |
| A3 | 65 |
| B3 | -58,08 |
| C3 | 12,84 |
| D3 | -11,66 |
| A4 | -474,6 |
| B4 | 443,1 |
| C4 | 45,61 |

| Nombre | Expresión |
|--------|-----------|
| t | 0,000 |

| Nombre | Expresión |
|--------|-----------------------------|
| x | if(t<0.230,x1,x2) |
| y | if(t<0.230,y1,y2) |
| x1 | A1*t^3 + B1*t^2 + C1*t + D1 |
| y1 | A2*t^3 + B2*t^2 + C2*t + D2 |
| x2 | A3*t^3 + B3*t^2 + C3*t + D3 |
| y2 | A4*t^2 + B4*t + C4 |

Fig.4. Parámetros y ecuaciones de movimiento para las etapas de propulsión (x_1, y_1) y de vuelo (x_2, y_2).

De acuerdo con el modelo construido que se muestra en la figura 4, la coordenada de posición del CG en la dirección vertical y el tiempo en las etapas de propulsión y de vuelo son:

Etapas de propulsión:

$$y_1 = -1\,410,0 t^3 + 926,2 t^2 + 67,2 t + 75,4 \quad (9)$$

Etapa de vuelo:

$$y_2 = -474,6 t^2 + 443,1 t + 45,6 \quad (10)$$

En la Figura 5 se muestra la relación entre la coordenada de posición vertical del CG y el tiempo durante el salto.

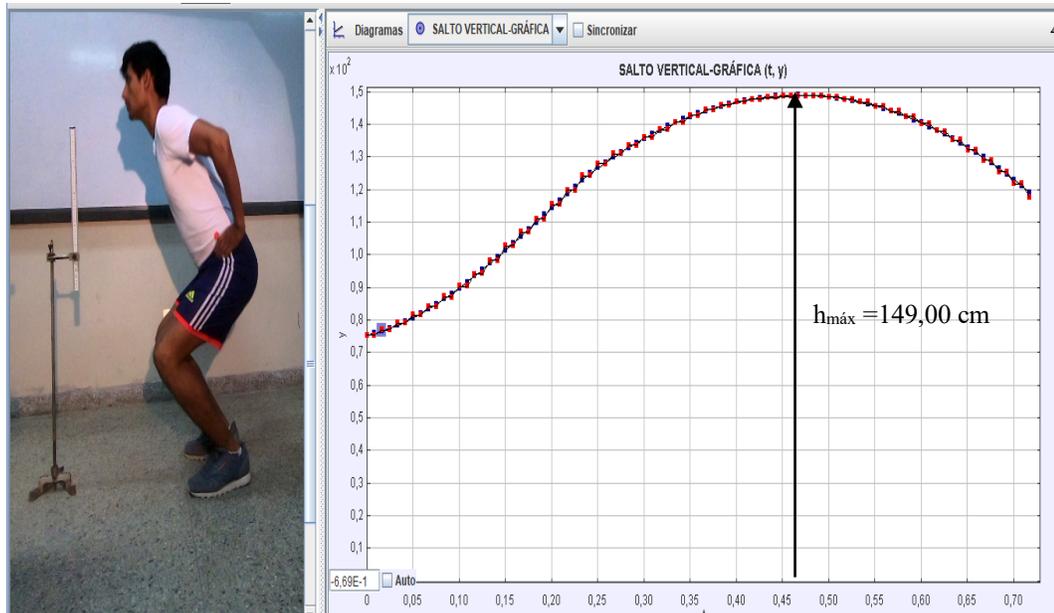


Fig.5 Gráfica de la relación entre la posición vertical del CG y el tiempo (línea azul) durante todo el salto, es decir, en las etapas de propulsión y de vuelo, según el modelo construido con Tracker. La línea discontinua (roja) corresponde a los puntos experimentales obtenidos a partir del video.

Al correr el video con Tracker, diferenciamos claramente la etapa de propulsión y la etapa de vuelo. La etapa de propulsión comprende desde el instante inicial del salto en $t = 0$ hasta el instante $t = 0,225$ s, en el cual se produce el despegue. La etapa de vuelo transcurre desde el instante $t = 0,225$ s hasta $t = 0,717$ s, en el cual los pies del saltador vuelven a tocar el piso. Así, el tiempo que dura la etapa de propulsión es $t_{\text{propulsion}} = 0,225$ s y el tiempo que dura la etapa de vuelo es $t_{\text{vuelo}} = 0,492$ s. La posición inicial del CG al iniciar el salto es $y_0 = 75,35$ cm y su posición al final de la fase de propulsión es $y = 121,4$ cm. Es decir, la distancia vertical que asciende el CG, desde que se inicia el salto hasta el final de la etapa de propulsión es $d = 46,05$ cm.

La máxima altura a la cual asciende el CG medido desde el piso es $h_{\text{máx}} = 149,00$ cm y lo alcanza en el instante $t = 0,467$ s de iniciado el salto y la altura del CG del saltador en posición de pie es $h_0 = 103,96$ cm, por tanto, la altura que se elevó el CG en el salto fue de $45,04$ cm, respecto a la posición de pie (bipedestación) del saltador.

En la figura 6 se muestra la relación entre la velocidad vertical del CG del saltador y el tiempo durante todo el salto, según el modelo construido con Tracker. La velocidad máxima alcanzada por el CG es $269,9$ cm/s, en el instante $t = 0,217$ s, es decir en la fase de propulsión. Note que, a partir de allí y en

un tiempo muy corto la velocidad disminuye hasta que se produce el despegue en el instante $t = 0,225$ s, a partir del cual se mueve en caída libre (etapa de vuelo). La aceleración del CG en la etapa de vuelo es $949,2 \text{ cm/s}^2$, el cual difiere en aproximadamente 3% del valor promedio 981 cm/s^2 , para el caso de una partícula.

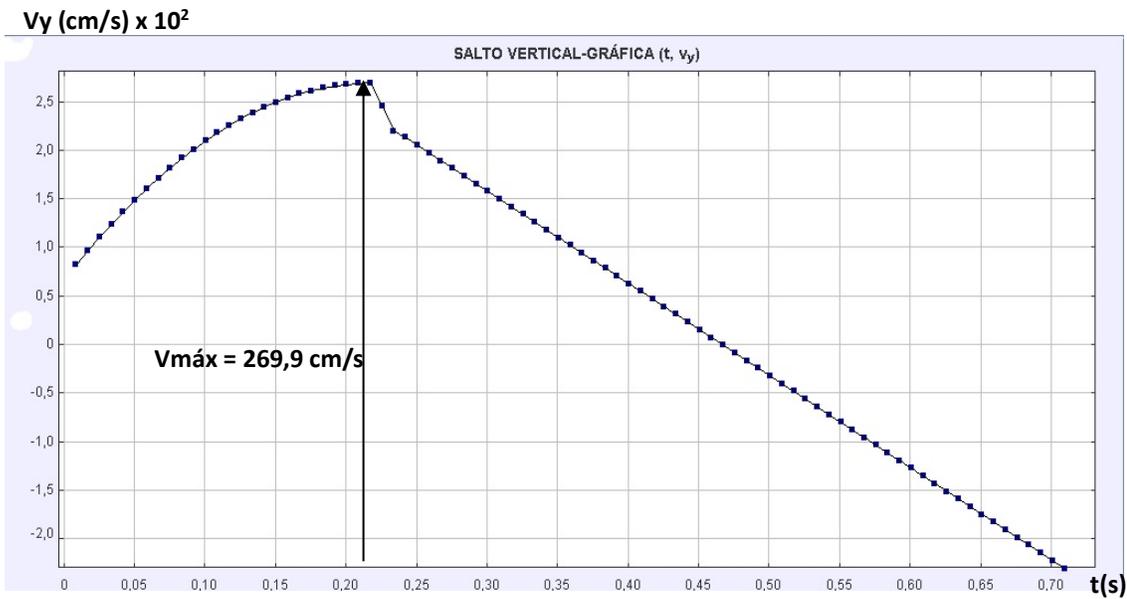


Fig.6 Gráfica de la relación entre la velocidad vertical del CG y el tiempo durante todo el salto, según el modelo construido con Tracker.

En la Fig.7 se muestra la relación entre la aceleración y el tiempo durante la etapa de propulsión del salto vertical con sentadilla.

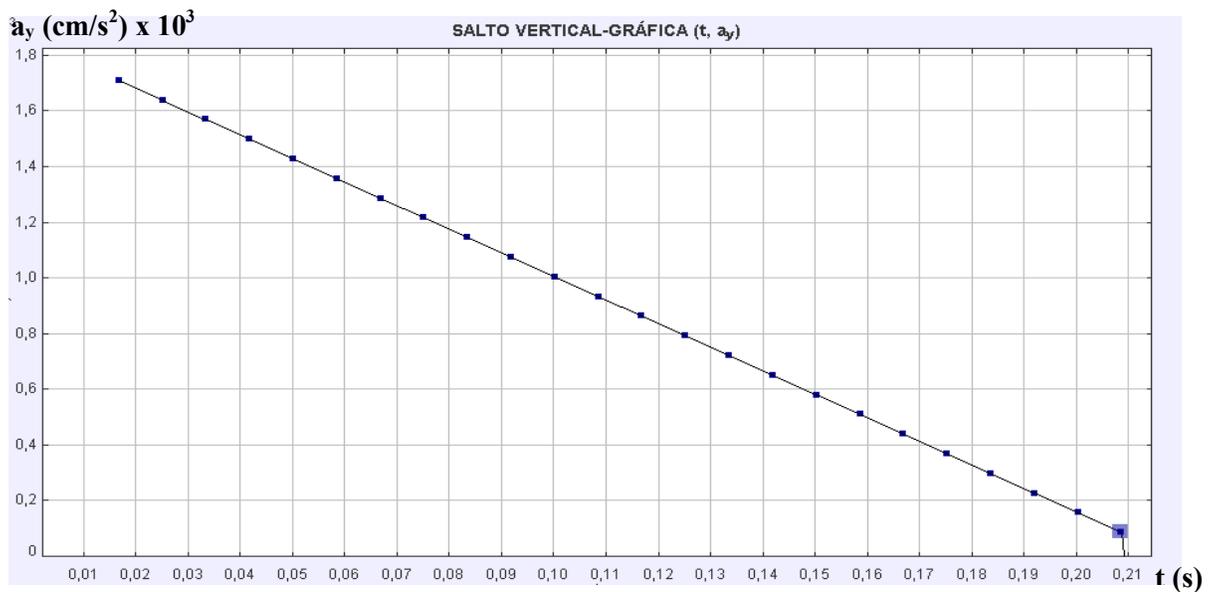


Fig.7 Gráfica de la relación aceleración en función del tiempo en la etapa de propulsión del salto vertical con sentadilla, según el modelo construido con Tracker.

Durante la etapa de propulsión se observa que la aceleración del CG en un tiempo muy pequeñísimo, 17 ms rápidamente alcanza su máximo valor, $a_{\text{máx}} = + 1\,711 \text{ cm/s}^2$, y luego se reduce linealmente con el tiempo hasta llegar a cero, en el instante $t = 0,217 \text{ s}$, cuando la fuerza de reacción normal es igual al peso del saltador, $F_N = mg$ y la velocidad es máxima. A partir de allí se mueve en caída libre y la aceleración cambia su sentido y aumenta su módulo hasta que, en el instante del despegue, en $t = 0,225 \text{ s}$, su valor es igual a la aceleración gravitacional terrestre.

De la ec. (3), la fuerza muscular promedio que desarrolla el saltador es:

$$F_M = mg + ma_{\text{prom}} = m(g + a_{\text{prom}}) = (68,0 \text{ kg})(9,492 + 8,997) \text{ m/s}^2$$

$$F_M = 1\,257,25 \text{ N}$$

La aceleración promedio, a_{prom} , en la etapa de propulsión se obtiene usando el analizador para ajustes estadísticos que ofrece Tracker.

El trabajo mecánico promedio realizado por los músculos, haciendo uso de la ec. (4) es:

$$W = F_M d = (1\,257,25 \text{ N})(0,4605 \text{ m}) = 578,96 \text{ J}$$

Luego, la Potencia mecánica promedio desarrollada por los músculos en la etapa de propulsión es:

$$P = \frac{W}{t_{\text{propulsion}}} = \frac{578,96 \text{ J}}{0,225 \text{ s}} = 2\,573,17 \text{ Watt} \quad (5)$$

En la Tabla 1. Se presenta un resumen de las principales magnitudes medidas durante las dos etapas del salto.

Tabla 1. Valores de las principales magnitudes medidas durante las etapas de propulsión y de vuelo.

| Etapa de propulsión | | Etapa de vuelo | |
|-------------------------------|------------------------|---|-------------------------|
| Tiempo de duración | 0,225 s | Tiempo de duración | 0,492 s |
| Distancia recorrida por el CG | 46,05 cm | Posición del CG, respecto a tierra (de pie) | 103,96 cm |
| Velocidad máxima del CG | 269,9 cm/s | Altura máxima del CG, respecto a tierra | 149,00 cm |
| Aceleración máxima del CG | 1711 cm/s ² | Altura que se eleva el CG en el salto | 45,04 cm |
| Fuerza muscular promedio | 1257,25 N | Velocidad de despegue | 220,1 cm/s |
| Potencia muscular promedio | 2573,17 W | aceleración | 949,2 cm/s ² |

IV. CONCLUSIONES

El uso del analizador de videos Tracker permite construir las ecuaciones cinemáticas del movimiento del centro de gravedad de una persona en un salto vertical y a partir de ellas conocer con precisión la máxima altura que alcanza. Con la rapidez de procesamiento de la cámara de video usada (120 fps) se han obtenido los valores de fuerza y potencia muscular promedios; esperamos obtener los valores instantáneos con una cámara de video de mayor rapidez de procesamiento.

La sencillez del análisis haciendo uso de Tracker y la diversidad de variables físicas que participan en el salto vertical hace que su estudio sea apropiado en prácticas de laboratorio con estudiantes de ciencias e ingeniería.

Por su eficiencia y bajo costo, es recomendable la aplicación de la prueba del salto vertical haciendo uso de Tracker en diferentes disciplinas deportivas, así como su estudio en cursos introductorios de física.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brown D and Cox A J 2009 Innovative uses of video analysis Phys Teach 47 145–50

Bosco C, Luhtanen P, and V. Komi 1983 A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland.

González C, Bregains F, Braidot A 2008 Análisis cinemático del salto en pacientes sin patologías en extremidades inferiores. Universidad de Antioquia, Colombia. Revista Ingeniería Biomédica ISSN 1909–9762, volumen 2, número 3.

Farias D, Da Silva G. 2016 Relação da força muscular com o desempenho no levantamento olímpico em praticantes de CrossFit, Universidade Católica de Brasília (UCB), Brasília.

Brown D. 2009. Tracker Video Analysis and Modelling Tool for Physics. Cabrillo College, California, U.S.A.

García L, J Peleteiro 2005. Tests de salto vertical: Aspectos biomecánicos. Revista Digital RendimientoDeportivo.com, N°7. Universidad de Leon. España.

Harman E, Rosenstein M, Frykman P, 1991 Estimation of human power output from vertical jump. Journal Applied Sport Science Research.

Hatze H. 1998 Validity and Reliability of Methods for Testing Vertical Jumping Performance. Journal of Applied Biomechanics. Human Kinetics Publishers, Inc.U.S.A.

<http://www.ptb.de/cms/en/fachabteilungen/abt1/fb-11/fb-11-sis/g-extractor.html>

Maud P. Foster C, Koning, J. 2006. Testing for anaerobic ability. Physiological Assessment of Human Fitness. Champaign, Illinois. U.S.A.

Linthorne P, 2001 Analysis of standing vertical jumps using a force platform. The University of Sydney, Sydney, New South Wales, Australia.

Sale, D, G. Mac. Dougall. 2004 Testing strength and power. Physiological Testing of the High-Performance Athlete. Champaign, Illinois. U.S.A.

Peña G, Heredia J, Arenas A. 2017. Dispositivos y Técnicas Para la Medición del Rendimiento del Salto Vertical: ¿Qué Opciones Tenemos? International Journal of Physical Exercise and Health Science for Trainers.