

**Optimización del salto vertical en base al perfil individual de fuerza-velocidad: un estudio de caso/Jumping performance's optimization based on force-velocity profile: A case study**

**Autor del trabajo:** Javier Marquínez Ferrándiz

**Tutor:** Alejandro Legaz Arrese

**Área:** Educación física y deportiva

**Departamento:** Fisiatría y enfermería

**Fecha de entrega:** 16 de septiembre del 2019

## **RESUMEN**

### **Objetivos:**

El objetivo de este trabajo es aumentar el rendimiento en el salto de un sujeto (19 años, 187cm, 88 kg) a través de una reducción en su desequilibrio en el perfil fuerza-velocidad (perfil F-V).

### **Metodología:**

El sujeto realizó un test para obtener su perfil F-V y su desequilibrio en el perfil F-V. El desequilibrio es utilizado como criterio para individualizar el programa de entrenamiento. Este programa de entrenamiento durará 9 semanas y está basado en el programa diseñado por Pedro Jiménez-Reyes que ha demostrado una alta eficacia en la optimización del salto vertical. (1,2). En este programa se individualizan los objetivos y contenidos de entrenamiento según el desequilibrio en el perfil F-V que presente el sujeto. En el test inicial el sujeto presentó un déficit de fuerza del 57.8% en su desequilibrio, por lo que fue asignado al grupo de entrenamiento de déficit alto de fuerza. Durante la realización del programa se realizan evaluaciones periódicas para reorientar el programa de entrenamiento según la evolución del desequilibrio en el perfil F-V.

### **Resultados:**

El desequilibrio F-V se redujo en un 37.26% hasta presentar un perfil F-V óptimo (desequilibrio en perfil F-V <10%). De forma simultánea a la reducción del desequilibrio el sujeto experimenta un aumento en el rendimiento en salto (Squat jump (SJ): +22.75%, Countermovement Jump (CMJ): +9.8%, Abalakov Jump (ABK): +17.92%). El aumento en estas variables mecánicas puede ser explicado por adaptaciones neurales y morfológicas del sistema neuromuscular al entrenamiento de fuerza.

**Conclusiones:**

La intervención ha cumplido los objetivos establecidos ya que el sujeto ha experimentado adaptaciones positivas en el perfil F-V y en la potencia y altura manifestada en cada salto. Este estudio reafirma la eficacia de un programa de entrenamiento individualizado en base al perfil F-V, siendo este perfil individual F-V una variable que debe ser monitorizada en los procesos de optimización del rendimiento.

## **ABSTRACT**

### **Aims:**

The aim of this study is to increase jumping performance on one subject (19 years, 187cm, 88Kg) through a force-velocity imbalance reduction,

### **Methods:**

The subject performed a test in order to obtain his F-V profile and his F-V imbalance. F-V imbalance is a criteria used to individualise the training program. This 9 week training program is based on the one designed by Pedro Jiménez-Reyes which has proved high effectiveness on vertical jump optimization. In this program the objectives and content of the training according to the subject's F-V imbalance. At the first test the subject had a 57.8% force deficit imbalance, for this reason the subject was assigned to the high force deficit training group. During the program the F-V imbalance is periodically monitored with the purpose of redi

### **Results:**

The F-V imbalance was reduced by 37.26% , achieving the optimal F-V profile. Parallel to the imbalance reduction an increase on jumping performance is observed (Squat jump (SJ) : +22.75%, Countermovement Jump (CMJ) : +9.8%, Abalakov Jump (ABK) : +17.92% ). These mechanical variables improvement might be explained by the neuromuscular system's neural and structural adaptations associated to strength training.

**Conclusions:**

The intervention has achieved the established goals because of the positive adaptations on the F-V profile and the jumps' height and power. This study confirms the efficacy of an individualised training program based on the F-V profile, which is a variable that must be monitored on performance optimization processes.

**INDICE**

1. Introducción
2. Objetivos
3. Material y métodos
4. Resultados
5. Discusión
6. Conclusiones
7. Referencias bibliográficas

## 1. INTRODUCCIÓN

La capacidad de realizar contracciones balísticas en acciones de salto, sprint y cambios de dirección determina el rendimiento en un gran número de especialidades deportivas (1,3) y consiste en la habilidad para alcanzar la máxima velocidad en el menor tiempo posible con nuestra masa corporal (1,4). Estas acciones dependen de elevados niveles de fuerza, potencia y velocidad durante la fase de empuje (5,6), estos dependen de las capacidades mecánicas del sistema neuromuscular, especialmente de las capacidades de potencia (7–9). El salto vertical es una acción recurrente en el baloncesto (10). Esta acción forma parte de un gran abanico de acciones en ambas fases del juego (11). Acciones defensivas como rebotear, taponar, robar y acciones ofensivas como finalizaciones, rebotes tiros a canasta requieren la utilización del salto (10,11). En la línea de investigación dirigida por Samozino concluyeron que el rendimiento balístico en el salto está altamente influenciado por la potencia máxima ( $\bar{P}_{max}$ ) que puede desarrollar el tren inferior (7,12,13), ya que  $\bar{P}_{max}$  afecta positivamente a la velocidad máxima de despegue ( $v_{TO\ max}$ ) (7).

Además de la  $\bar{P}_{max}$  el rendimiento en el salto se ve influenciado por la capacidad de producir fuerza en todo el espectro de velocidades (fuerza producida en velocidades altas y bajas) (1). Esta capacidad es distinta entre sujetos y se representa a través del perfil F-V ( $S_{Fv}$ ) (7,14,15). Más aún, un mismo sujeto puede presentar dos perfiles diferentes en distintos puntos de su proceso de entrenamiento, viéndose influenciado por el historial de entrenamiento y características individuales (1,2,14).

La influencia de estas capacidades mecánicas se resume en la fórmula presentada a continuación. En esta ecuación la velocidad de despegue máxima del sujeto queda definida en función de  $\bar{P}_{max}$ ,  $S_{Fv}$  y la distancia de empuje ( $h_{PO}$ ) (7,13):

$$v_{TO\ max} = h_{PO} \left( \sqrt{\frac{S_{Fv}^2}{4} + \frac{2}{h_{PO}} \left( 2\sqrt{-\bar{P}_{max}S_{Fv}} - g \sin \alpha \right)} + \frac{S_{Fv}}{2} \right) \quad (7)$$

Siguiendo con la línea de investigación demostraron que para cada sujeto (con valores fijo de  $\bar{P}_{max}$ ) existe un perfil F-V óptimo ( $S_{FVopt}$ ) que aumenta hasta el máximo el rendimiento en el salto, este  $S_{FVopt}$  representa un adecuado equilibrio entre las capacidades de desarrollar fuerza y velocidad durante el salto (7,14,16). Esta diferencia entre su perfil F-V óptimo y el actual se representa de forma relativa mediante el desequilibrio en el perfil F-V ( $FV_{IMB}$ ).

$$FV_{IMB} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{S_{Fv}}{S_{FVopt}} \right) \quad (2)$$

El  $FV_{IMB}$  representa la magnitud (%) y la dirección (fuerza o velocidad) del desequilibrio entre las capacidades de fuerza y velocidad (7). La diferencia entre el perfil actual y el óptimo puede ser a favor de  $\bar{v}_0$  (déficit de fuerza  $S_{Fv} < 100\%$ ) o inclinarse a favor de  $\bar{F}_0$  (déficit de velocidad  $S_{Fv} > 100\%$ ) (7). Conocer este perfil F-V y su desequilibrio es una herramienta útil para individualizar el proceso de optimización del rendimiento (1,2,15).

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo de este estudio es mejorar el rendimiento de salto de un jugador de baloncesto aplicando un programa de entrenamiento de 9 semanas durante el período de transición dirigido a reducir el desequilibrio en el perfil F-V.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### ***Sujeto***

El sujeto seleccionado para la intervención tiene 18 años, con una altura de 187 cm y una masa corporal inicial de 88.1 Kg. El sujeto de estudio práctica baloncesto en competiciones F.E.B. dentro de la categoría primera nacional. El sujeto tiene más de un año de experiencia en programas de entrenamiento de fuerza y acondicionamiento físico llevados a cabo por Graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (realizando una media de 8 horas semanales de entrenamiento dirigido). El sujeto está familiarizado con todos los test utilizados excluyendo el test para obtener el perfil F-V por lo que realizaremos una sesión de familiarización la semana previa a la realización del test.

#### ***Diseño experimental***

Este estudio sigue un diseño pre-post. El sujeto realizará una batería inicial de test (pre) con el objetivo de conocer el rendimiento en salto y su perfil F-V. Una vez realizados estos tests, el sujeto realizará un programa de entrenamiento de 9 semanas basado en el diseñado por Jiménez-Reyes (1,2) que utiliza el desequilibrio en el perfil F-V como herramienta para individualizar y reorientar el entrenamiento y cuya efectividad ha sido demostrada experimentalmente (1,2). Tras este periodo de entrenamiento se repiten los mismos test (post) para evaluar los efectos del programa de entrenamiento en el rendimiento en salto y en el desequilibrio en el perfil F-V.

Las evaluaciones pre y post y el programa de entrenamiento han sido realizadas en el periodo transitorio, fuera del calendario de competiciones. El sujeto se encuentra en un equipo recién ascendido. Esto supone un contexto competitivo en el que se precisará de un alto rendimiento en un gran número de partidos durante toda la temporada. Debido a este contexto el sujeto debe optimizar su rendimiento de cara al inicio de la temporada. Durante la realización del programa el sujeto realizará de 2 a 3 sesiones semanales de desarrollo técnico-táctico de una duración aproximada de 1h y 20 min. En su calendario tiene una semana de tecnificación intensiva en la que realizará 2 sesiones matinales y una sesión de competiciones vespertina.

### ***Instrumental***

Las medidas antropométricas (altura y peso) son obtenidas mediante una báscula Keito (Keito 7, Aguilflai Ibérica S.L., Barcelona, Spain). La altura del centro de masas (C.M.) inicial y final para el cálculo de la distancia de empuje ( $h_{P0}$ ) se recogen utilizando un metro laser. Todos los saltos tanto los lastrados (perfil F-V) como los no lastrados (SJ, CMJ, ABK) fueron grabados a través de la cámara incorporada de un smartphone (iPhone 6, versión software IOS 12.3.1, Apple, California E.E.U.U.) con una frecuencia de 240 Hz (fps., imágenes por segundo). Los datos correspondientes al rendimiento en los distintos tipos de salto (lastrados y no lastrados) son obtenidos de forma indirecta mediante la aplicación validada My Jump 2 (17,18) (Versión: My Jump 2v.4.1.1., desarrollado por Carlos Balsalobre, España).

### ***Tests***

En primera instancia se extrajeron las medidas antropométricas correspondientes a la masa, la altura y distancia de empuje ( $h_{p0}$ ) (19). A continuación, se evaluó el rendimiento en distintos saltos (SJ, CMJ, ABK). Por último 4 saltos (SJ) lastrados fueron grabados para determinar su relación F-V actual, su  $P_{max}$  y su desequilibrio en el perfil F-V (7). Este desequilibrio será utilizado posteriormente para asignar al sujeto en un programa individualizado de entrenamiento (1,2).

El conjunto de tests se realizaron en el gimnasio de las secciones deportivas de la A.D. Stadium Casablanca de 10:00 a 12:00. Se establece un protocolo de calentamiento idéntico para todas las sesiones de evaluación. Este consiste en un esfuerzo continuo de intensidad moderada mediante carrera continua de una duración de 5 min, una serie de estiramientos dinámicos del tren inferior con una duración de 2 min y un calentamiento específico en el que se ejecute 3 veces el tipo de salto que evaluaremos descansando 1 min entre estos. El deportista descansará 3 min desde el último salto del calentamiento hasta el primer intento del test. En cada test realizaremos tres intentos y descansaremos 3 min entre distintos tests para asegurar una recuperación completa. Para la evaluación del perfil F-V realizaremos un calentamiento específico que consistirán en la realización de 3 SJ con el 20% del peso corporal y 2 SJ con el 40% del peso corporal.

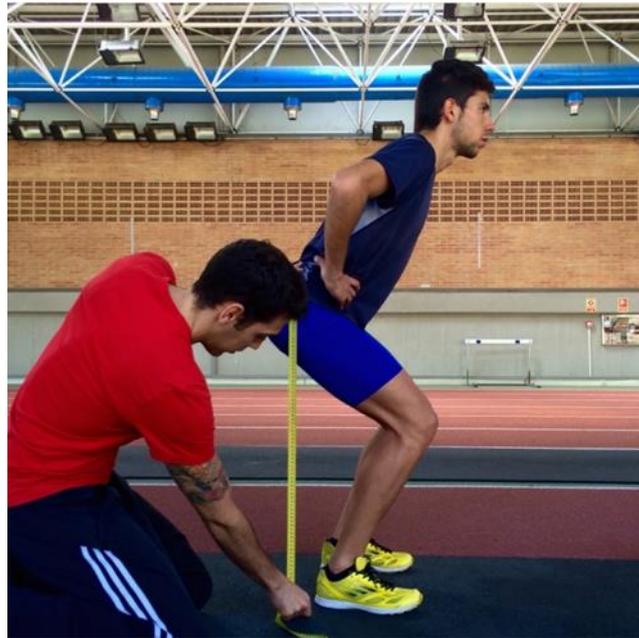
Se recomienda al atleta no realizar ejercicio vigoroso las 48 h previas a la realización de los tests. Así como no cambiar sus hábitos nutricionales y evitar el consumo de alcohol durante todo el programa de entrenamiento. La semana previa a la primera evaluación, se realiza una única sesión de familiarización del sujeto con la batería de tests con 2 intentos para cada prueba. Esto nos sirve además para poner a prueba las herramientas de medición

y comprobar su correcto funcionamiento, así como para prevenir posibles complicaciones. A continuación, desarrollamos las medidas y tests que se realizarán al sujeto.

### ***Medidas antropométricas***

El sujeto es medido y pesado antes de comenzar el programa. La masa (kg) es recogida al principio y durante el programa de entrenamiento de forma periódica ya que necesitamos saber que masa tiene que movilizar el atleta para calcular las capacidades mecánicas del atleta a partir de los saltos. El sujeto siempre se pesa descalzo y con ropa (pantalón y camiseta cortos). Durante el proceso de entrenamiento se registra el peso del sujeto justo antes de comenzar la realización del perfil F-V. La balanza utilizada para tomar la masa y la altura del sujeto fue desarrollada por la marca Keito, modelo K7.

Para el cálculo de  $h_{p0}$  (distancia de empuje) necesitamos la altura a la que se sitúa el C.M. en la posición inicial del salto y la altura del C.M. en la posición final del salto. Se realizan las mediciones con el jugador equipado con el mismo calzado con el que se realizaran las pruebas de rendimiento en salto y perfil F-V. Para obtener  $h_S$  pedimos que el sujeto baje su centro de gravedad hasta el punto en el que su rodilla se encuentra en una flexión de  $90^\circ$  (Imagen 1). Desde este punto tomamos como punto de referencia del C.M. el trocánter mayor y medimos la distancia de este hasta el suelo mediante un metro laser. A continuación, para medir la posición final del sujeto, posicionamos al sujeto en decúbito supino realizando una triple extensión de cadera (incompleta), rodilla y tobillo. En esta posición medimos la distancia entre el trocánter mayor y la punta de la zapatilla (Imagen 2). El cálculo de  $h_{p0}$  es la diferencia entre la altura final del C.M. y la altura inicial del salto.(13,19).



*Figura 1 Medida de altura del C.M. en posición inicial del salto.(Extraída de My Jump 2)*



*Figura 2 Medida de la altura del C.M. en la posición final del salto.*

### ***Perfil fuerza-velocidad***

Hoy en día es bastante sencillo y económico obtener el perfil F-V individual y el perfil F-V óptimo. Con estos dos datos obtenemos el desequilibrio en el perfil F-V. Basta con grabar una serie de 2 a 6 saltos lastrados (20,21) con un smartphone que grabe a 240 Hz o fps. y que tenga instalada la app My Jump 2 desarrollada y validada por Carlos Balsalobre (17,18). El test es accesible ya que no requiere instrumentos ni tecnología especialmente cara, además la duración de la prueba es de unos 20 min permitiendo repetir la prueba con una alta frecuencia si fuese necesario. El dispositivo móvil se situará a 1.5 metros de la zona de salto y estará dispuesto de forma horizontal.

Cada vez que queramos evaluar el perfil F-V grabaremos 4 SJ lastrados con la barra en posición tras nuca alta. La masa total (discos y barra) aumenta en cada intento, dicha masa supone el 20, 40, 60, 80% de la masa del sujeto para cada salto lastrado(7,14,20). Mediante la aplicación My Jump 2 debemos señalar el momento en el que el atleta despegar y aterriza en cada salto, después nos solicitará añadir el peso(kg) con el que se realiza dicho salto (barra y discos). Se realizan dos intentos con cada peso y después se escoge la mejor marca de estos dos. Una vez realizado el test obtendremos el perfil F-V del sujeto. La aplicación obtiene los resultados aplicando un modelo matemático validado (13,19).

Tras realizar estos pasos, la aplicación calcula el perfil F-V individual, el desequilibrio en el perfil F-V(en forma de porcentaje), fuerza máxima teórica o  $\bar{F}_0$ (n/kg), velocidad máxima teórica o  $\bar{v}_0$ (m/s), la potencia máxima o  $\bar{P}_{max}$  (w/kg) del atleta (17). Para que el test sea positivo el valor  $R^2$  debe ser  $>0.90$ .

***Salto: Abalakov, CMJ, SJ***

Evaluaremos el rendimiento en los tres tipos de salto. De cada tipo de salto realizaremos y grabaremos tres intentos. Utilizaremos la aplicación My jump 2 en el dispositivo iPhone 6. El dispositivo móvil se situará a 1.5 m de la zona de salto y estará dispuesto de forma horizontal. El salto Abalakov(ABK) es una acción de salto en la que desde una posición estática se utiliza un movimiento coordinado de los brazos con el ciclo estiramiento-acortamiento del tren inferior. En el salto denominado countermovement jump (CMJ) eliminamos la participación de los brazos obligando al sujeto a colocar las manos en la cintura y no soltarla durante la realización del salto. Si se sueltan las manos durante el salto el intento es nulo. El salto Squat Jump (SJ) se caracteriza por eliminar la fase excéntrica del salto además de la acción de brazos y por ello es una prueba compleja. Si en la fase preparatoria dentro de un intento se realiza una fase descendente o se sueltan las manos de la cadera el intento se considerará nulo. En los aterrizajes se exige que mantengamos la última posición en el despegue, no se permitirán recoger las piernas ni aterrizar con una flexión dorsal del tobillo.

***Base teórica del programa de entrenamiento***

El objetivo del programa de entrenamiento es aumentar el rendimiento en salto consiguiendo un aumento de la  $\bar{P}_{max}$  y una reducción del desequilibrio entre el perfil F-V óptimo del sujeto y el perfil actual que presenta.

Este desequilibrio no es inamovible ya que el perfil F-V sufre adaptaciones específicas a los niveles de fuerza y velocidad requeridas o manifestadas en el estímulo de entrenamiento (3). Estas adaptaciones son específicas al espectro de fuerza y velocidad al que se exponga al sujeto mostrando una mejora en el rendimiento balístico a través de

una inclinación en el perfil F-V actual del individuo hacia perfil F-V óptimo (reducción de desequilibrio en el perfil F-V) y/o un aumento de  $\bar{P}_{max}$ .(14,15). Presentamos los tres casos del desequilibrio en el perfil F-V que podemos encontrar y una idea orientativa de los objetivos prioritarios del programa de entrenamiento.

- Si nos encontramos ante un perfil F-V que presenta un déficit de fuerza deberemos priorizar el trabajo en la zona de máximo desarrollo de la fuerza dentro del espectro F-V para aumentar  $\bar{P}_{max}$  y disminuir el déficit de fuerza y reducir así el desequilibrio. De esta manera aumentaremos la producción de altos niveles de fuerza a bajas velocidades aumentando la fuerza máxima teórica ( $\bar{F}_0$ ) de dicho sujeto (15).
- Si por el contrario nos encontramos ante un déficit de velocidad debemos trabajar la zona opuesta en el espectro F-V. Debemos aplicar estímulos de entrenamiento donde se apliquen niveles bajos de fuerza a altas velocidades. De esta manera mejoraremos las capacidades de producción de fuerza a altas velocidades y la velocidad de contracción máxima ( $\bar{v}_0$ ) (15).
- Si nos encontrásemos ante un perfil equilibrado (desequilibrio <10%), la prioridad es aumentar  $\bar{P}_{max}$  sin renunciar a mantener el perfil F-V equilibrado (15).

Siguiendo esta línea de investigación utilizaron con éxito el desequilibrio en el perfil F-V como un criterio para individualizar y reorientar el programa de entrenamiento, cuyos objetivos fueron priorizar el trabajo de la zona del perfil F-V que presentaba un déficit (fuerza o velocidad) y el incremento de su  $\bar{P}_{max}$  (1,2). En el primer estudio los participantes fueron asignados a tres grupos de intervención que seguían programas de entrenamiento diferentes(2) :

- Grupo de entrenamiento optimizado en base al desequilibrio en el perfil F-V: divididos en subgrupos basados en su desequilibrio inicial. Distinguimos tres subgrupos: déficit de velocidad, déficit de fuerza y perfil equilibrado.
- Grupo de entrenamiento no optimizado: el programa de entrenamiento no contemplaba las diferencias individuales en el desequilibrio en el perfil F-V. .
- Grupo control: no recibían entrenamiento.

Una de las conclusiones principales de este estudio es que el diseño de un programa de entrenamiento utilizando como criterio principal el desequilibrio en el perfil F-V es más eficaz para la mejora del rendimiento en el salto que un programa de entrenamiento tradicional común a todos los sujetos independientemente de sus perfiles F-V individuales (2). Sin embargo, este estudio presentaba tres limitaciones. En primer lugar, el programa de entrenamiento parte de una duración fija de 9 semanas. A pesar de que todos los individuos participantes en el programa optimizado mejoraron su rendimiento en salto y redujeron su desequilibrio en el perfil F-V (2) no todos llegaron a un perfil F-V equilibrado. Es por esto que la duración del programa también debe ser individualizada (1). En segundo lugar, si bien es cierto que todos los sujetos mejoraron la altura del salto y redujeron su desequilibrio inicial, el grado de mejoría varió enormemente entre los grupos de déficit de fuerza y de velocidad (2). Se observó que los individuos que presentaban un déficit de velocidad tendían a acercarse más rápido a su perfil F-V óptimo respecto a los individuos que presentaban déficit de fuerza (2). Los autores asociaron esta diferencia al mayor tiempo requerido para conseguir adaptaciones estructurales relacionadas con la manifestación de altos niveles de fuerza (directamente relacionada con  $\bar{F}_0$ ) respecto a adaptaciones neuromusculares agudas (relacionadas con  $\bar{F}_0$  y  $\bar{v}_0$ ) (2,22). Por último, estudian las adaptaciones o respuesta del desequilibrio en el perfil F-V ante el programa de entrenamiento optimizado, pero no estudian la reversibilidad de estas

adaptaciones al cesar el entrenamiento optimizado. Conocer la duración de las adaptaciones del perfil F-V es útil para la periodización del entrenamiento, concretamente para programar picos de forma y periodos de tapering (1).

En base a estas limitaciones un nuevo estudio es diseñado para conocer el tiempo de entrenamiento que necesita cada individuo hasta alcanzar su perfil F-V óptimo y estudiar el proceso de desentrenamiento. Concluyeron que; primero, el desequilibrio inicial y las diferencias en el tiempo necesario para conseguir las adaptaciones del entrenamiento exigen monitorizar regularmente el desequilibrio en el perfil F-V de tal manera que los contenidos, objetivos y duración del programa de entrenamiento debe individualizarse hasta alcanzar el perfil F-V(1). Segundo, la magnitud del desequilibrio en el perfil F-V inicial esta positivamente correlacionada con la duración del entrenamiento hasta alcanzar el perfil F-V óptimo (1). Por último no observaron cambios significativos en el perfil fuerza-velocidad ni en la altura de salto en las 3 semanas posteriores al cese del programa de entrenamiento (1). Esta continuidad en las adaptaciones obtenidas se presenta en las figuras 3 y 4. Este último dato es interesante puesto que habitualmente los procesos de tapering cuyo objetivo es buscar un pico de rendimiento en el deportista no suelen exceder habitualmente de 3 semanas. Algunos autores recomiendan que el periodo táper dure entre 1 y 2 semanas (23).

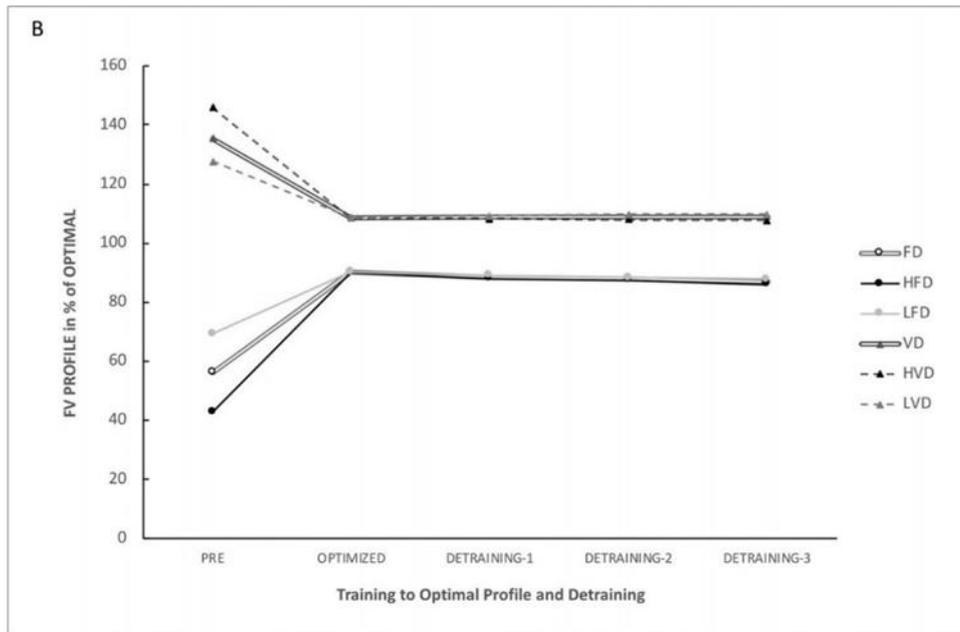


Figura 3 Evolución del perfil f-v durante un proceso de desentrenamiento de 3 semanas(1)

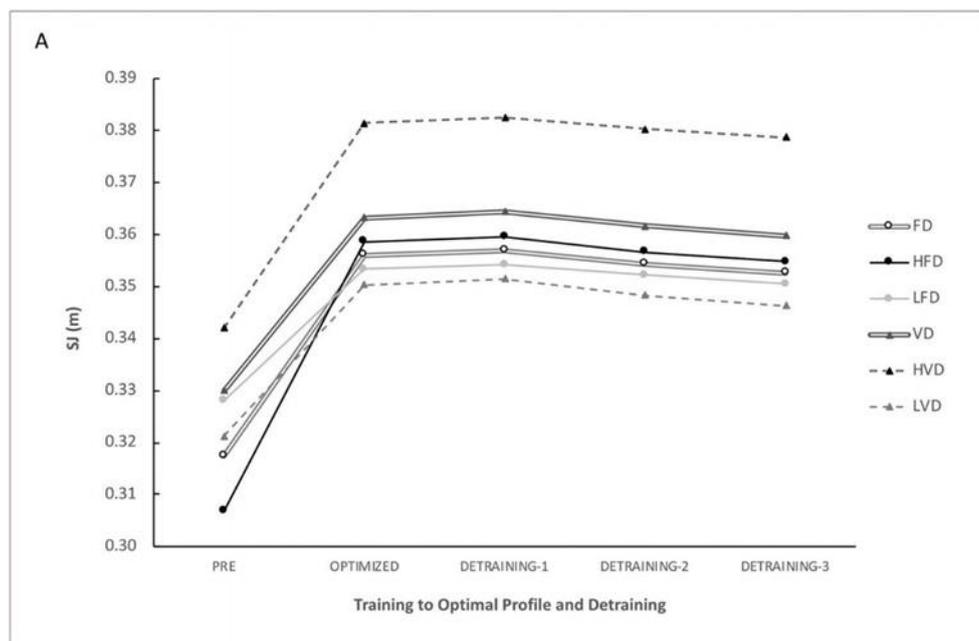


Figura 4 Evolución del rendimiento en SJ durante un proceso de desentrenamiento de 3 semanas(1)

Esta línea de investigación de Jiménez-Reyes demuestra la eficiencia de un entrenamiento programado en base al desequilibrio en el perfil F-V para aumentar el rendimiento en el salto en sujetos entrenados y no entrenados (1,2).

### ***Diseño del programa de entrenamiento***

#### *Categorías o niveles de entrenamiento*

Una vez analizado el perfil F-V y obtenido el desequilibrio en el perfil F-V, se asigna un programa adaptado al estado del atleta según la magnitud o dirección del desequilibrio distinguiendo cinco niveles diferentes:

- Déficit alto de fuerza <60%
- Déficit bajo de fuerza 60-90
- Bien equilibrado >90-110%
- Déficit bajo de velocidad >110-140%
- Déficit alto de velocidad >140%

#### *Individualización en el estímulo de entrenamiento*

Según el perfil que presente el sujeto se orientarán los contenidos e intensidad del entrenamiento diferenciando el estímulo de entrenamiento para cada individuo (1,2). Existe una alta especificidad en el tipo de estímulo de entrenamiento y la adaptación experimentada (22). Existen numerosos estudios de los efectos de diferentes programas en los que se experimenta una mejora clara en el rendimiento en salto y otras capacidades mecánicas (24–32). En todos ellos los ejercicios propuestos en el programa involucran esfuerzos máximos. El ejercicio o tarea y la intensidad de este determina los niveles de fuerza, velocidad y potencia que se manifiestan en su ejecución (3). Los ejercicios por tanto determinan las características del estímulo de entrenamiento. Como observamos en la figura 5 dependiendo del ejercicio e intensidad seleccionado trabajaremos y desarrollaremos determinadas partes de la curva F-V (3).

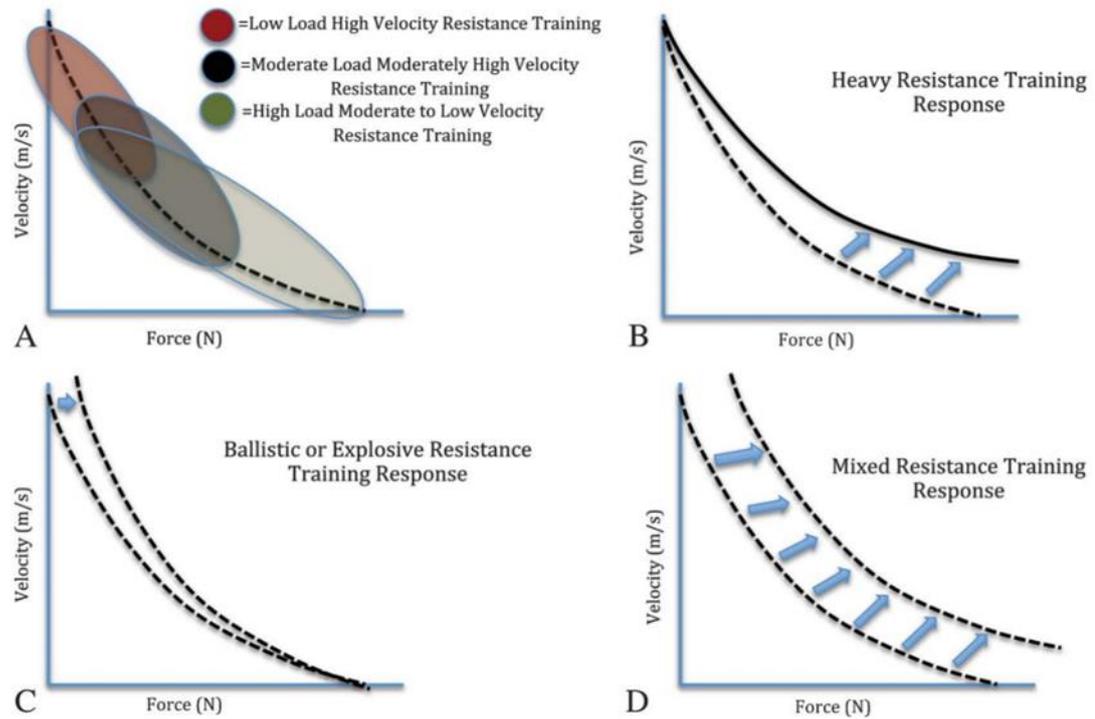


Figura 5 Resultados potenciales de distintos programas de entrenamiento en el perfil f-v de un sujeto(3)

Teóricamente el uso de movimientos con cargas bajas y a alta velocidad (<manifestación de fuerza) puede desarrollar el área o zona de alta velocidad de la relación Fuerza-velocidad, mientras que cargas más altas aumentarán la zona de altos niveles de aplicación de fuerza de esta relación (3).

En la tabla 1 se presentan tanto las categorías del desequilibrio con sus umbrales (máximos y mínimos) del desequilibrio en el perfil F-V, el intervalo de desequilibrio en el que se sitúa cada categoría y el ratio de carga de las distintas manifestaciones de fuerza (1,2).

Categorías del desequilibrio	Umbrales	Ratio de carga de entrenamiento*
<b>Déficit alto de fuerza</b>	<60%	3 Fuerza 2 Fuerza-Potencia 1 Potencia
<b>Déficit bajo de fuerza</b>	60-90%	2 Fuerza 2 Fuerza-Potencia 2 Potencia
<b>Bien equilibrado</b>	>90-110%	1 Fuerza 1 Fuerza Potencia 2 Potencia 1 Potencia-Velocidad 1 Velocidad
<b>Déficit bajo de velocidad</b>	>110-140%	2 Velocidad 2 Potencia-Velocidad 2 Potencia
<b>Déficit alto de velocidad</b>	>140%	3 Velocidad 2 Potencia-Velocidad 1 Potencia

*\*Los números que aparecen en la tercera columna hacen referencia al número de ejercicios que se dedicarán al contenido adyacente de un total de 6 ejercicios semanales. De cada ejercicio se realizarán 3 series.*

*Tabla 1 Asignación de los contenidos de entrenamiento según el tipo de déficit presentado .Adaptada*

*de Jiménez Reyes (8,9)*

El ratio de carga de entrenamiento representa el número de ejercicios por semana que el sujeto debe dedicar a cada objetivo o contenido de entrenamiento, dentro de un volumen total de 6 ejercicios semanales, de cada ejercicio (1). De cada ejercicio se realizarán 3 series, sumando un total de 18 series semanales (1). Es decir, un individuo que presenta un 40% en su desequilibrio en el perfil F-V se encuentra en el grupo de alto déficit de fuerza y por lo tanto a lo largo de la semana debería realizar 3 ejercicios de desarrollo de fuerza, 2 ejercicios de desarrollo de fuerza potencia y 1 ejercicio de desarrollo de la potencia.

*Ejercicios asignados a los objetivos de entrenamiento*

En la tabla 2 se presentan el tipo y la intensidad de los ejercicios seleccionados para desarrollar los distintos objetivos del programa (1,2).

<b>Objetivo</b>	<b>Ejercicios</b>	<b>Intensidad</b>
<b>Fuerza</b>	Sentadilla trasera	80-90% 1RM
	Prensa	90-95% 1RM
	Peso Muerto	90-95% 1RM
<b>Fuerza-potencia</b>	Clean Pull	80% 1RM
	Peso Muerto	80% 1RM
	Squat Jump	>70% peso corporal
	CMJ	>80% peso corporal
<b>Potencia</b>	Squat jump	20-30% peso corporal
	CMJ	35-45% peso corporal
	Single Leg squat jump	Peso corporal
	Single leg CMJ	10% peso corporal
	Clean Pull jump	65% 1RM
<b>Potencia-Velocidad</b>	Depth Jumps	
	Squat Jump	Peso corporal
	CMJ	10% peso corporal
	Maximal VBJ	
<b>Velocidad</b>	Horizontal SJ	< peso corporal
	CMJ con acción de brazos	Peso corporal

Abreviaciones: RM: Repetición Máxima; CMJ: Countermovement jump; VBJ: Vertical box jump; SJ: Squat jump.

**Tabla 2** Objetivos de entrenamiento y selección de ejercicios adaptado de Jiménez Reyes (1,2)

*Reorientación del entrenamiento:*

Los test para monitorizar el desequilibrio en el perfil F-V del sujeto nos sirven para reorientar el entrenamiento. En la tabla 1 se desarrollan los distintos programas de entrenamiento diseñados para reducir las deficiencias de diferentes desequilibrios en el perfil F-V. Esto da lugar a 5 programas de entrenamiento con un volumen idéntico pero que se diferencian en los objetivos y contenidos trabajados. El procedimiento es sencillo, en el momento en el que el sujeto reduce su desequilibrio y cruza uno de los umbrales o intervalos de desequilibrio establecidos el programa de entrenamiento adapta los contenidos para reducir las deficiencias que presente en ese momento.

#### 4. RESULTADOS

El sujeto seleccionado para la intervención tiene 18 años, con una altura de 187 cm y una masa corporal inicial de 88.1 Kg al inicio del programa, su distancia de empuje  $h_{p0}$  es de 41.6 cm. En los tests iniciales la altura alcanzada en el SJ, CMJ y ABK es de 26.28 cm, 32.79 cm y 34.93 cm respectivamente. Presenta un déficit alto de fuerza con un desequilibrio del 57.8%, sus valores mecánicos teóricos de  $\bar{F}_0$ ,  $\bar{v}_0$  y la  $\bar{P}_{max}$  son de 25.23 n/kg, 4,35 m/s y 27.45 w/kg, respectivamente.

A lo largo del programa de entrenamiento se realizan reevaluaciones para reorientar el programa de entrenamiento en caso de ser necesario. Los resultados de estas evaluaciones se presentan en la tabla 3. Tras el programa de entrenamiento el sujeto experimentó un aumento en el rendimiento en todos los tipos de salto alcanzando una altura de 32.26 cm en el SJ, 36.26 cm en el CMJ y 41.19 cm en el ABK. En cuanto al perfil F-V al final del entrenamiento el sujeto presentaba un perfil equilibrado con un 1% de desequilibrio a favor de la velocidad. Las variables mecánicas de  $\bar{P}_{max}$  (w/kg) y  $\bar{v}_0$ (m/s) se vieron reducidas alcanzando un valor final de 19.56 w/kg y 2.35 m/s. Por otro lado, la  $\bar{F}_0$ (N/kg) tras el programa de entrenamiento aumentó hasta 33.24 n/kg.

	PRE	3ª SEMANA	6ª SEMANA	8ª SEMANA	POST	Diferencia PRE-POST (%)
<b>Perfil F-V</b>						
Orientación del desequilibrio	Fuerza	Fuerza	Fuerza	Fuerza	Velocidad	
Magnitud del desequilibrio (%)	57.8%	42.06%	24.63%	19.5%	1.0%	-37.26
$\bar{P}_{max}$ (W/Kg)	27.45	23.44	19.91	19.27	19.56	-28.74
$\bar{F}_0$ (N/Kg)	25.23	27.32	28.95	29.45	33.24	+31.74
$\bar{v}_0$ (m/s)	4.35	3.42	2.75	2.62	2.35	-45.97
<b>Rendimiento en salto(m)</b>						
SJ	26.28	31.17	32.26	32.74	32.26	+22.75
CMJ	32.79	33.32	37.71	35.98	36.03	+9.88
ABK	34.93	32.26	35.48	36.03	41.19	+17.92

$\bar{P}_{max}$ : Potencia máxima a  $\bar{F}_0$ ; Fuerza máxima teórica,  $\bar{v}_0$ : Velocidad máxima teórica SJ: Squat jump; CMJ: Countermovement Jump; ABK: Abalakov Jump

*Tabla 1 Resultados obtenidos en la evaluación PRE y POST y en las evaluaciones intermedias.*

Si observamos los cambios relativos tras la realización del programa, encontramos un aumento en el SJ (22.75%), en CMJ (9.8%) y en ABK (17.92%). En cuanto al desequilibrio en el perfil F-V el sujeto ha disminuido su desequilibrio inicial (37.26%). Un desequilibrio menor o igual al 10% tanto de fuerza como de velocidad se considera equilibrado (1,2,15).

## 5. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio era aumentar el rendimiento en salto a través de una mejora del desequilibrio en el perfil F-V que presentaba el sujeto en la evaluación inicial. Hemos presentado las mejoras en los distintos saltos y la reducción en el  $FV_{imb}$ . A continuación, trataremos de explicar las posibles causas de estos cambios.

### *Perfil F-V y variables mecánicas*

El sujeto ha experimentado un aumento considerable de sus niveles de  $\bar{F}_0$  (31,74%) y una reducción completa del desequilibrio (37,26%). La reducción del desequilibrio del individuo es explicada por el aumento de los valores de  $\bar{F}_0$ , lo que provoca una inclinación en el perfil F-V a favor de  $\bar{F}_0$ . Si bien es cierto que en los estudios de Jiménez-Reyes se consiguieron reducir los desequilibrios, hay que destacar que el tiempo para llegar a un perfil F-V óptimo (desequilibrio en el perfil F-V <10% ) en sujetos que presentaban un déficit alto de fuerza ascendía a las 15 semanas (figura 6)(1). Haber llegado a un perfil F-V óptimo en solo 9 semanas es un resultado sorprendente, que demuestra la efectividad del programa y sugiere que el sujeto ha respondido correctamente a los estímulos de entrenamiento recetados en el programa de entrenamiento.

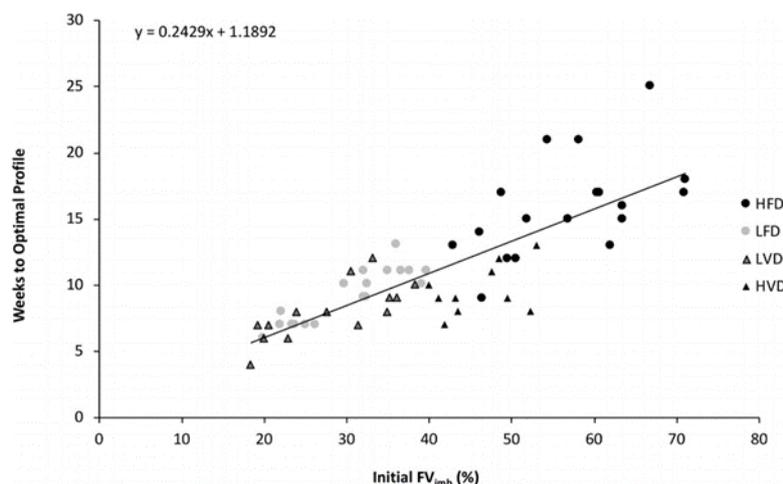


Figura 6 Correlación entre el desequilibrio inicial y el tiempo requerido para alcanzar el perfil  $f-v$  óptimo (1)

El aumento de  $\bar{F}_0$  coincide con los resultados obtenidos en los estudios de Jiménez-Reyes (1,2) en los que los sujetos asignados al grupo de alto y bajo déficit de fuerza aumentaron un 24% y 30% sus valores de  $\bar{F}_0$  (1,2). Este incremento en los valores de  $\bar{F}_0$  coincide con los objetivos prioritarios del programa de entrenamiento y se debe a la selección de los ejercicios y la intensidad de estos (3). En la tabla 1 observar que aquellos sujetos que presenten un déficit alto de fuerza dedicaran 3 de cada 6 ejercicios semanales al desarrollo de niveles de fuerza máximos. La intensidad de estos ejercicios se sitúa entre el 80% y el 95% de una repetición máxima (1 RM).

Desarrollamos a continuación las adaptaciones o mecanismos que pueden explicar el aumento de los niveles en  $\bar{F}_0$  tras la realización del programa de entrenamiento. El entrenamiento de fuerza con cargas elevadas provoca adaptaciones neurológicas y morfológicas (23). A nivel neurológico disminuye el umbral de reclutamiento de las unidades motoras (33,34) e incrementa su porcentaje de codificación (33,35,36). Además los programas de entrenamiento pueden aumentar la sincronización de unidades motoras (37) y reducir la inhibición neural (38). Estas adaptaciones neurológicas modifican la

capacidad de generación de fuerza (23) mejorando la producción de fuerza y de potencia (39). A nivel morfológico una de las respuestas musculares al entrenamiento de fuerza es la hipertrofia (40), esta se produce por cambios estructurales en la arquitectura muscular (23,40). Una gran cantidad de estudios concluyeron que el entrenamiento de fuerza provoca el proceso de hipertrofia en fibras tipo I y tipo II (41–47). Esta hipertrofia viene acompañada de incrementos significativos en el área de sección transversal de las fibras musculares de los músculos esqueléticos, fruto del incremento de las estructuras contráctiles (39) y del ángulo de pennación (47). Estas dos adaptaciones mejoran las ganancias de fuerza muscular (39,47). Para concluir el entrenamiento de fuerza provoca un aumento del volumen de fibras tipo II, aumentando la proporción de esta respecto a las del tipo I en el área de sección transversal en el musculo, esto se traduce en una mejora en la capacidad de generar fuerza y potencia (48–50).

Observamos el aumento en  $\bar{F}_0$  de forma simultánea con una reducción de  $\bar{v}_0$ . Esto coincide con los resultados obtenidos en los estudios de Jiménez-Reyes(1,2). En el programa individualizado planteado para corregir el déficit de fuerza que presenta el sujeto los ejercicios se caracterizan por demandar magnitudes altas de fuerza a baja velocidad (1–3). Este programa está dirigido a corregir el déficit de fuerza buscando un incremento de la fuerza máxima del sujeto (39,51), y una inclinación a favor de  $\bar{F}_0$  del perfil F-V del sujeto en detrimento de la velocidad (1,2). Debido a esta diferencia de prioridades, mientras un objetivo es priorizado (fuerzas altas a baja velocidad) se trabaja con más frecuencia mientras que el otro (aplicación de bajos niveles de fuerza a alta velocidad) se entrena con menor frecuencia o como ocurre con nuestro sujeto no se entrena (1,2,15). Esto provoca una disminución o pérdida de adaptaciones en la zona de alta velocidad como efecto del desentrenamiento.

El aumento de  $\bar{F}_0$  en detrimento de la  $\bar{v}_0$  explica que la  $\bar{P}_{max}$  (W/Kg) ha disminuido desde 27.45 w/kg a 19.56 w/kg. Por lo tanto, el aumento en  $\bar{F}_0$  no ha provocado un aumento en  $\bar{P}_{max}$  debido a la mencionada pérdida en  $\bar{v}_0$ . Presentamos la definición de  $\bar{P}_{max}$  a continuación.

$$\bar{P}_{max} = \frac{\bar{F}_0 \cdot \bar{v}_0}{4} \quad (14)$$

Podemos afirmar, coincidiendo con otras investigaciones que la mejora del rendimiento es debida a una reducción del desequilibrio en el perfil F-V y no a un aumento de  $\bar{P}_{max}$  (1,2).

### ***Rendimiento en salto***

Tras la aplicación del programa el sujeto ha visto incrementado su rendimiento en todos los tipos de salto, concretamente un incremento del 22.75% en el SJ, un 9.8% en el CMJ y un 17.92% en el ABK. Estos resultados concuerdan con los observados en otros estudios (1,2). En varios estudios que siguen esta línea de investigación las mejoras en los niveles de  $\bar{F}_0$  fueron asociadas a un gran incremento en la altura de vuelo (1,2,7). Parte de este incremento en la altura de salto se debe que el salto vertical es el que más demanda de niveles de fuerza máxima puesto que es el que presenta una mayor aceleración provocada por la gravedad (7,51). De hecho, el aumento de la  $\bar{F}_0$  afecta en mayor medida a la altura del salto que un aumento de la  $\bar{v}_0$ .

Por otro lado el  $Fv_{IMB}$  afectaba negativamente al rendimiento en salto (7). Si se observa la figura 7 se puede comprobar que el rendimiento en salto relativo al máximo teórico alcanzable por un sujeto disminuye a la par que el desequilibrio aumenta (14).

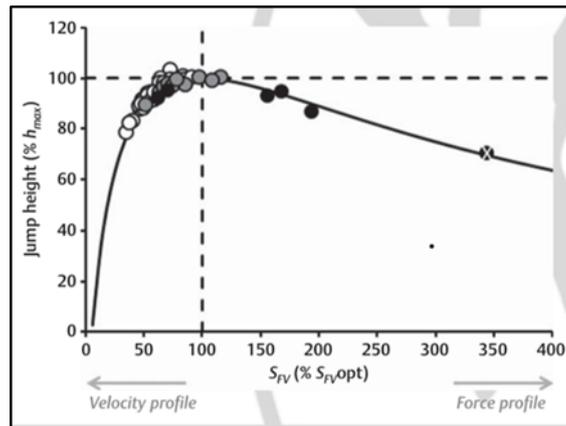


Figura 7 Porcentaje relativo a la máxima altura teórica en SJ según el tipo y magnitud de desequilibrio que presenten los sujetos (14)

Además, un sujeto que presenta un desequilibrio en el perfil F-V no desarrollará su  $\bar{P}_{max}$  ante su propio cuerpo durante un salto vertical como podemos observar en la gráfica 4 (7,14). Por lo tanto, el considerable aumento del rendimiento en salto se debe a incrementos en los niveles de  $\bar{F}_0$  y la reducción del desequilibrio en el perfil F-V del sujeto. Esta reducción en el desequilibrio se traduce en una manifestación completa de la potencia en la acción del salto.

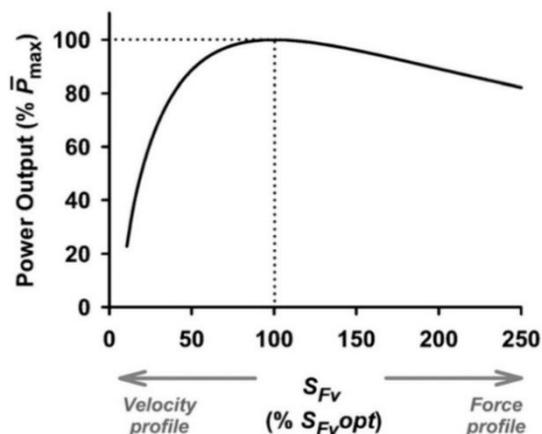


Figura 8 Porcentaje de potencia manifestada en el salto según el tipo y magnitud del desequilibrio en el perfil f-v presentado(14).

Una de las limitaciones principales de este estudio es la precisión y exactitud de las mediciones realizadas. Concretamente las medidas referentes al tiempo de vuelo utilizando la herramienta informática My Jump 2. En cuanto a la precisión de la herramienta la principal limitación recae en los Hz que posee el sistema de grabación utilizado, a mayor frecuencia (Hz) obtendremos mayor precisión. Además, el inicio y el final del salto se mide de forma manual por lo que al evaluar el mismo salto podríamos obtener tiempos de vuelo, y por lo tanto alturas, diferentes. Para solventar estos errores cada video se procesa 3 veces permitiendo una diferencia de 20 ms entre la medida de salto más alta y la más baja. Respecto a la precisión la aplicación esta validada comparando los valores obtenidos mediante la aplicación y los obtenidos con una plataforma de fuerzas (17,18).

## **6.CONCLUSION**

El programa de entrenamiento de 9 semanas basado en el perfil individual F-V ha optimizado el perfil F-V provocando que el sujeto haya alcanzado su perfil F-V óptimo. Además, ha incrementado la altura alcanzada en todos los saltos (SJ, CMJ y ABK). Teniendo en cuenta la influencia que posee el desequilibrio del perfil F-V en el rendimiento y la manifestación de la potencia máxima del atleta en el salto(7), consideramos una capacidad que debe ser monitorizada frecuentemente en el proceso de optimización del rendimiento en modalidades que incluyan acciones que dependan de la manifestación de altos niveles de potencia.(1,2,10,15). De esta manera seremos capaces de periodizar los objetivos o contenidos del entrenamiento según el historial de entrenamiento del atleta o estado de forma actual y el contexto competitivo. Utilizando estos datos podemos prescribir los estímulos de entrenamiento de forma individualizada, dirigidos a equilibrar el déficit que manifieste el atleta, aumentando su rendimiento neuromuscular.

## **CONCLUSIONS:**

This 9 week training program based on the individual F-V profile has optimized the F-V profile, making the subject reach his optimal F-V profile. Additionally it has increased the height reached on all types of jump (SJ, CMJ y ABK). Considering the F-V imbalance influence on the performance and the maximal power that can be reached on a jump, we consider this variable should be frequently monitorized during the performance optimization process. Especially on sports where performance depends on the maximal power that the athlete can apply. Thanks to this monitorization we Will be able to program and individualise the training program. Using this data we can individually prescribe training stimulus to target the F-V imbalance, optimizing his neuromuscular performance.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Morin J-B. Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. Boulosa D, editor. PLoS One. 2019 15;14(5):e0216681.
2. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin JB. Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. Front Physiol. 2017;7.
3. Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. Strength Cond J. 2012 Dec;34(6):2–12.
4. Winter E. Jumping: Power or Impulse? Med Sci Sport Exerc. 2005;37(3):524.
5. Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bush M, Bradley PS. The evolution of physical and technical performance parameters in the english premier league. Int J Sports Med. 2014;35(13):1095–100.
6. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. Med Sci Sports Exerc. 2010;42(8):1566–81.
7. Samozino P, Rejc E, Enrico P, Prampero DI, Belli A. Optimal Force–Velocity Profile in Ballistic Movements— Altius : Citius or Fortius ?. Med Sci Sports Exerc. 2012;313–22.

8. Bourdin M, Edouard P, Peyrot N, Samozino P. Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur J Appl Physiol.* 2012;
9. Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, et al. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sport.* 2016;26(6):648–58.
10. Ziv G, Lidor R. Vertical jump in female and male volleyball players: A review of observational and experimental studies. *Scand J Med Sci Sport.* 2010;20(4):556–67.
11. Stojanović E, Stojiljković N, Scanlan AT, Dalbo VJ, Berkelmans DM, Milanović Z. The Activity Demands and Physiological Responses Encountered During Basketball Match-Play: A Systematic Review. *Sport Med.* 2018;48(1):111–35.
12. Vandewalle H, Peres G, Monod H. Standard Anaerobic Exercise Tests. *Sports Med.* 1987;289:268–89.
13. Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. Jumping ability: A theoretical integrative approach. *J Theor Biol.* 2010 May 7;264(1):11–8.
14. Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin J. Personal profile for Force-Velocity Profile : Imbalance Determination and Effect on Lower Limb Ballistic Performance. *Int J Sports Med.* 2013.
15. Morin J, Samozino P. Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *Int J Sports Physiol.* 2016;267–72.

16. Jiménez P, Pierre R. Effect of countermovement on power – force – velocity profile. *Eur J Appl Physiol*. 2014;2281–8.
17. Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockey RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *J Sports Sci*. 2015;33(15):1574–9.
18. Gallardo-Fuentes F, Gallardo-Fuentes J, Ramírez-Campillo R, Balsalobre-Fernández C, Martínez C, Caniuqueo A, et al. Intersession and intrasession reliability and validity of the my jump app for measuring different jump actions in trained male and female athletes. *J Strength Cond Res*. 2016;30(7):2049–56.
19. Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech*. 2008 Oct 20;41(14):2940–5.
20. García-Ramos A, Pérez-Castilla A, Jaric S. Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sport Biomech*. 2018;00(00):1–16.
21. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Pareja-Blanco F, Morin FCVC-PJJG-BJ-B. Validity of a simple method for measuring force-velocity- power profile in countermovement jump. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016.
22. Kenney W, Wilmore J, Costill D. *Physiology of Sport and Exercise*. 5th ed. Champaign C.:Human Kinetics, editor. 2015.
23. Bompa TO, Buzzichelli CA. *Periodización Teoría y metodología del entrenamiento*. Ediciones Tutor. 2019. 407 p.

24. Rønnestad BR, Kojedal O, Losnegard T, Kvamme B, Raastad T. Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(6):2341–52.
25. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(8):1582–98.
26. Rønnestad BR, Hansen J, Nygaard H. 10 weeks of heavy strength training Improves performance-related measurements in elite cyclists. *J Sports Sci.* 2017;35(14):1435–41.
27. Markovic G, Vuk S, Jaric S. Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *Int J Sports Med.* 2011;32(5):365–72.
28. Samozino P, Riviere JR, Rossi J, Morin J-B, Jiménez-Reyes P. How Fast is a Horizontal Squat Jump? . *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;
29. Newton R, Murphy A, Humphries B, Wilson G, Kraemer W, Keijo H. Influence of load and stretch shortening cycle on kinetics and muscle activation that occurs during upper-body movements. *Eur J Appl Physiol.* 1997;75:333–42.
30. Argus CK, Gill ND, Keogh JWL, Blazeovich AJ, Hopkins WG. Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free counter movement jumps. 2011;25(8):2219–27.

31. Sheppard JM, Dingley AA, Janssen I, Spratford W, Chapman DW, Newton RU. The effect of assisted jumping on vertical jump height in high-performance volleyball players. *J Sci Med Sport*. 2011;14(1):85–9.
32. Harris G, Stone M, O'Bryant H, Proulx C, Johnson R. Short-Term Performance Effects of High Power, High Force, or combined wight training methods.  
  
*J Strength Cond Res*. 2000;14(1):14–20.
33. Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*. 1998;513(1):295–305.
34. Hafe GG, Whitley A, J.A. P. A brief review: explosive exercises and sports performance. *Natl Strength Cond Assoc*. 2001;23:13–20.
35. Deschenes M. Short Review: rate coding and motor unit recruitment patterns. *J Appl Sport Sci*. 1989;3:33–9.
36. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J D-PP. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*. 2002;93:1318–26.
37. Semmler JG. Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exerc Sport Sci Rev*. 2002;30:8–14.

38. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol*. 2000;89:2249–2257.
39. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training. *Sport Med*. 2007;37:145–68.
40. Seynes O., De Boer M, Narici, MV. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol*. 2007;102:368–73.
41. Williams DL, Gallagher PM, C.C. C, Raue U, Trappe SW. Reduction in hybrid single muscle fiber proportions with resistance training in humans. *J Appl Physiol*. 2001;91:1955–61.
42. Widrick J., Stelzer JE, Shoepe TC, Garner DP. Functional properties of human muscle fibers after short-term resistance exercise training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2002;283:R408–4012.
43. Thorstenson A, Hulten B, Von Döbeln W, Karlsson J. Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*. 1976;96:392–8.
44. Macdougall JD, Elder GC, Sale DG, Moroz JR, Sutton JR. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *Eur J Appl Physiol*. 1980;43:25–34.

45. Houston ME, Froese EA, Valeriote SP, Green HJ, Ranney DA. Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: a one leg model. *Eur J Appl Physiol.* 1983;51:25–35.
46. Häkkinen K, Komi PV, Tesch PA. Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force -time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand J Sport Scie.* 1981;3:50–8.
47. Aagard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, Leffers AM, Wagner A, Magnusson SP, et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol.* 2001;534:613–23.
48. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sport Med.* 2004;34:663–79.
49. Stone MH, M.E. S, Sands WA. Principles and practice of resistance training. Human Kinetics Publishers Inc.; 2007.
50. Häkkinen K. Neuromuscular adaptations during strength training aging, detraining and immobilization. *Crit Rev Phys Rehabil Med.* 1994;6:161–98.
51. Minetti AE. On the mechanical power of joint extensions as affected by the change in muscle force (or cross-sectional area), ceteris paribus. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86(4):363–9.