

# APRENDIZAJE DIFERENCIAL APLICADO AL SAQUE DE VOLEIBOL EN DEPORTISTA NOVELES



Tesis Doctoral  
De **Sandra Ruth Reynoso**

Dirigida por **Dr. F. J. Moreno Hernández**  
y **Dr. Rafael Sabido Solana**





**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD**

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

**APRENDIZAJE DIFERENCIAL APLICADO AL SAQUE  
DE VOLEIBOL EN DEPORTISTA NÓVELES**

**Tesis Doctoral**

Sandra Ruth Reynoso

Licenciada en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Elche - España

2017





El Dr. D. Juan Carlos Marzo Campos, director del Departamento de Psicología de la Salud de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

AUTORIZA:

Que el trabajo de investigación titulado: *“Aprendizaje diferencial aplicado al saque de voleibol en deportistas nóveles”* realizado por Dña. Sandra Ruth Reynoso bajo la dirección del Dr. D. Francisco J. Moreno Hernández y del Dr. D. Rafael Sabido Solana sea depositado en el departamento y posteriormente defendido como Tesis Doctoral en esta Universidad ante el tribunal correspondiente.

Lo que firmo para los efectos oportunos en Elche a

2017

**Fdo.: Juan Carlos Marzo Campos**

Director del Departamento de Psicología de la Salud

Universidad Miguel Hernández de Elche



# **UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**

**Departamento: Psicología de la Salud**

Programa de Doctorado: Psicología de la Salud

**Título de la Tesis**

## **APRENDIZAJE DIFERENCIAL APLICADO AL SAQUE DE VOLEIBOL EN DEPORTISTA NÓVELES**



**Tesis Doctoral**

**Dña. Sandra Ruth Reynoso**

Dirigida por los Dres.

Francisco Javier Moreno Hernández

Rafael Sabido Solana

**El Director**

**El Director**

**La Doctorando**

Elche, julio de 2017



# UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

Tesis doctoral presentada por:

Sandra Ruth Reynoso

## **Directores**

Dr. D. Francisco J. Moreno Hernández

Dr. D. Rafael Sabido Solana

Elche – España

2017





*Esto es por y para mis padres,  
a ellos con amor.*





## **Agradecimientos**



**C**on el convencimiento que voy haciendo mi camino acompañada, en esta etapa tan importante del trayecto de mi vida, quiero traer del recuerdo a los que estuvieron cerca participando, ayudando, alegrando, sosteniendo, alentando, reteniendo, poniendo obstáculos, enseñando... y todo lo que puede suceder en el lapso de 4 maravillosos años.

**C**uando ya había dejado de soñar con tener la posibilidad de investigar, sin darme cuenta se fueron entretrejiendo los hechos y un día me encontré sentada en el laboratorio de APCOM del Centro de Investigación de la UMH redactando esta tesis. A lo mejor, para quien no conoce la realidad de las ciencias del deporte en mi país Argentina, le resulte difícil comprender el porque festejo, que mi deseo inconsciente se hiciera realidad.

**E**s muy conmovedor recordar a cada uno de los que participaron en el desarrollo de este estudio y quisiera no olvidarme de alguien, así que como lluvia de ideas voy a ir escribiendo sus nombres que llevan una gran carga de imágenes, palabras y momentos importantes.

**T**odos ustedes fueron y son lo mejor que viví mientras estuve radicada en España. Profes, amigos, compañeros...

Raúl mi primer guía, Eduardo, Fran, Pepo ídolo, J. Antonio María♥, Álvaro, Tomás, Héctor, David, Casto, Maripi, Ana Cristina, Noelia, Sarabia, Miguel, David, Dori, “el profesor loco” J. Pedro, Rubén, Vicente, Manolo, Manolo G., Altair, Celes, Choche, mi maestro Carlos, Rober, Nachito, Clara, José G., alumnas de Pilates, jugadoras del vóley UMH, César y el deporte UMH...

**P**ara mi familia es la oportunidad de poner en palabras las gracias por estar siempre a mi lado. Ustedes saben que estaré en deuda eterna por el “aguante” que me propiciaron los años de ‘extranjera’:

Mami, ser incondicional a mi lado siempre.

Papi, mi admiración y ejemplo constante.

Hermanas, mis amigas y apoyo.

Hijos, Luchi y Rodri, mis amores por quienes respiro.

Tía Friné, para vos mi viejita linda, un gracias porque siempre creíste en mí y a pesar de tu carga no dejaste de darme tu sonrisa 😊

Prima Naty, un sol que vino a dar luz cuando necesitaba que clareara en este país anfitrión.

**A** mis tutores, Francis y Rafa, que no sólo me asistieron como guía y luces en este camino de la ciencia, sino que fueron ejemplo de personas de bien y con un enorme corazón para brindarse más allá de lo académico.

**Adolfo**, tú lo sabes, porque nos damos mucho amor y no tengo que decirte nada que no te haya dicho ya, pero sí quiero recordarte, que fuiste quien me dijo: “Hacemos el máster de rendimiento?”... seguro no sabías que has sido el que me dio rumbo para llegar a este destino. Te quiero.

**Isabel**, amiga del alma, mis gracias a ti son por haber estado a mi lado en mi aventura de pasar y estar en tu ciudad, y por seguir conmigo a pesar que nos distancian unos “metros”. Fuiste y eres una usina en mis días desde que te conocí.

**Carlita**, mi joven amiga con sabiduría de anciana, compañera de múltiples fantásticos momentos, de las que no fallan... “vamos a.... vamos!”. Una “pata” única, ídola. La seguimos por el mundo, querida!!!

**Mis hermanos chilenos**, Dani y Andy, gracias por ser tan generosos conmigo. Fue muy bonito vivir mis últimos días en España con ustedes. ♡

**Si** tengo que seguir agradeciendo me acuerdo de los amigos que coseché en mi cruzada, y que hicieron que me sintiera como en ‘casa’. Hermosos momentos que a mi paso viví con Lluís, Luis, Gema, Tomás M., Javier P. S., Javi Guardi, Tomás R., Paqui, Paqui, Ángela, Ferrán, Richar, Kenny, Maru, Mamen... ey! Volveré en breve para retomar nuestras charlas con tapas y cervecitas! Esperadme!

**Todos ustedes fueron un aliciente en las distintas sendas para alcanzar este cruce que tiene gusto a llegada... gracias.**

**Ahora?** A seguir →

## INDICE GENERAL

---

### **CAPÍTULO I - Introducción**

<b>I.1 Evolución del Aprendizaje Motor .....</b>	<b>25</b>
I.1.1 Modelos conductuales de aprendizaje.....	26
I.1.2 Aprendizaje motor.....	29
I.1.3 Organización de la práctica .....	32
<b>I.2 Aprendizaje Motor y Entrenamiento Diferencial .....</b>	<b>37</b>
I.2.1 Principios de la teoría de los sistemas dinámicos .....	37
I.2.2. Entrenamiento diferencial.....	41
<b>I.3 Voleibol: el saque .....</b>	<b>46</b>
<b>I.4 Formulación de la investigación .....</b>	<b>50</b>

### **CAPÍTULO II - Objetivos e hipótesis**

<b>II.1 Objetivos .....</b>	<b>57</b>
<b>II.2 Hipótesis .....</b>	<b>58</b>

### **CAPÍTULO III - Método**

<b>III.1 Muestra del estudio .....</b>	<b>61</b>
<b>III.2 Instrumental .....</b>	<b>62</b>
<b>III.3 Variables .....</b>	<b>66</b>
III.3.1 Variables dependientes.....	66
III.3.2 Variable independiente .....	68
III.3.3 Variables contaminadoras.....	68
<b>III.4 Diseño de investigación .....</b>	<b>69</b>
<b>III.5 Procedimiento.....</b>	<b>69</b>
<b>III.6 Organización, cálculo y análisis estadístico .....</b>	<b>74</b>
III.6.1 Organización y cálculo de variables de rendimiento.....	75
III.6.2 Organización y cálculo lineal de variables cinemáticas.....	76
III.6.3 Organización y cálculo de patrones de coordinación.....	81
III.6.4 Análisis estadístico de las variables de rendimiento y cinemáticas .....	84

## **CAPÍTULO IV - Resultados**

<b>IV.1 Análisis de las variables de rendimiento</b> .....	<b>90</b>
IV.1.1 Acierto en la trayectoria de la pelota .....	90
IV.1.2 Precisión espacial .....	90
IV.1.3 Velocidad de la pelota .....	94
<b>IV.2 Análisis de las variables cinemáticas</b> .....	<b>96</b>
IV.2.1 Duración del movimiento .....	96
IV.2.2 Velocidad del movimiento .....	98
IV.2.3 Variabilidad de la velocidad del movimiento de la mano ejecutora .....	103
<b>IV.3 Análisis de patrones de coordinación</b> .....	<b>109</b>
IV.3.1 Patrones de coordinación .....	109
IV.3.2 Distribución de la frecuencia de los patrones de coordinación .....	110
IV.3.3 Tipo de coordinación por grupo. Porcentaje en fase .....	112
IV.3.4 Intensidad de la relación .....	113
<b>IV.4 Correlación de variables de rendimiento con cinemáticas</b> .....	<b>116</b>
IV.4.1 Correlación: duración del mov. c/ la velocidad mano aux. ....	119

## **CAPÍTULO V – Discusión**

V.1 Discusión sobre resultados de las variables de rendimiento .....	123
V.2 Discusión sobre resultados de las variables de cinemática .....	126
V.3 Discusión sobre resultados de los patrones de coordinación .....	129
V.4 Discusión sobre resultados de la correlación de variables .....	132

## **CAPÍTULO VI – Conclusiones** .....

**137**

## **CAPÍTULO VII – Limitaciones y prospectivas**

VII.1 Limitaciones .....	143
VII.2 Prospectivas .....	145

## **Anexos** .....

**149**

## **Bibliografía** .....

**183**

## INDICE DE TABLAS

---

### **Tablas:** Capítulo 3

Tabla 3.1: Descriptivos de la muestra por grupo .....	61
---	----

### **Tablas:** Capítulo 4

Tabla 4.1: Descriptivos de la duración media del saque .....	96
Tabla 4.2: Descriptivos de la variabilidad de la duración media del saque .....	98
Tabla 4.3: Descriptivos velocidad media todos los sensores .....	98
Tabla 4.4: Descriptivos velocidad máxima de la mano .....	99
Tabla 4.5: Descriptivos velocidad máxima del brazo .....	101
Tabla 4.6: Descriptivos velocidad máxima de la cadera .....	102
Tabla 4.7: Descriptivos velocidad máxima de la mano auxiliar .....	102
Tabla 4.8: Descriptivos de la diferencia temporal entre mano y brazo .....	103
Tabla 4.9: Descriptivos de la diferencia temporal entre brazo y cadera .....	103
Tabla 4.10: Descriptivos de la diferencia temporal entre mano y cadera .....	103
Tabla 4.11: CV de la velocidad de la mano ejecutora .....	104
Tabla 4.12: Tipo de patrones de coordinación .....	109
Tabla 4.13: Patrones de coordinación de cada sujeto .....	110
Tabla 4.14: Descriptivos del porcentaje en fase de la relación mano-brazo .....	112
Tabla 4.15: Descriptivos del porcentaje en fase de la relación brazo-cadera .....	112
Tabla 4.16: Descriptivos del porcentaje en fase de la relación mano-cadera.....	112
Tabla 4.17: Descriptivos de la intensidad de la relación mano-brazo .....	113
Tabla 4.18: Descriptivos de la intensidad de la relación brazo-cadera .....	113
Tabla 4.19: Descriptivos de la intensidad de la relación mano-cadera.....	113
Tabla 4.20: Correlación entre variables de rendimiento y cinemáticas .....	118
Tabla 4.21: Correlación duración mov./velocidad máxima mano aux.....	119

## INDICE DE FIGURAS

---

### **Figuras:** Capítulo 1 - INTRODUCCIÓN

Figura 1.1: Tipos de aprendizaje.....	26
Figura 1.2: Organización de la práctica.....	33
Figura 1.3: Técnica del saque de arriba en apoyo .....	49
Figura 1.4: Gráfica de posibles direcciones del saque.....	49

### **Figuras:** Capítulo 3 - MÉTODO

Figura 3.1: Área de registro. Distribución del instrumental .....	62
Figura 3.2: a) Ubicación del radar SR 3600 b) Radar Sport (SR3600) .....	62
Figura 3.3: a) Ubicación cámara de video Sony b) Cámara Sony H. AVGH D 6.1 .	63
Figura 3.4: a) Polhemus Liberty b) Interfaz gráfica del Polhemus.....	64
Figura 3.5: Colocación de sensores .....	64
Figura 3.6: Ubicación del ordenador guía de ejercicios.....	65
Figura 3.7: Cronograma del estudio .....	70
Figura 3.8: Rutina de estiramientos de hombros y brazos .....	71
Figura 3.9: Personal investigador 1 .....	71
Figura 3.10: Personal investigador 3 .....	72
Figura 3.11: Sujeto ejecutando un test.....	73
Figura 3.12: Pantalla de Kinovea digitalización caída de la pelota.....	75
Figura 3.13: Archivo de texto del Polhemus de los ensayos de un sujeto .....	77
Figura 3.14: Interfaz de Labview para el corte del movimiento del saque .....	78
Figura 3.15: Pantalla principal de VblCinematik.vi.....	79
Figura 3.16: Pantalla del código en Labview 8.5 de la aplicación VblCinematik.vi	80
Figura 3.17: Fórmula del coeficiente de variación .....	81
Figura 3.18: Fórmula de la correlación cruzada .....	82
Figura 3.19: Tabla patrones de coordinación .....	83

**Figuras:** Capítulo 4 - RESULTADOS

Figura 4.1: Saques con acierto de trayectoria .....	90
Figura 4.2: Error absoluto en el eje X .....	91
Figura 4.3: Error absoluto en el eje Y .....	91
Figura 4.4: Error radial medio .....	92
Figura 4.5: Error variable en el eje X .....	92
Figura 4.6: Error variable en el eje Y.....	93
Figura 4.7: Variabilidad del error radial.....	93
Figura 4.8: Velocidad media de la pelota .....	94
Figura 4.9: Variabilidad de la velocidad de la pelota.....	94
Figura 4.10: Velocidad media de aciertos .....	95
Figura 4.11: Variabilidad de la velocidad media de los aciertos .....	95
Figura 4.12: Duración del movimiento GC .....	96
Figura 4.13: Duración del movimiento EC .....	97
Figura 4.14: Duración del movimiento ED .....	97
Figura 4.15: Velocidad máxima en S1 - GC .....	100
Figura 4.16: Velocidad máxima en S1 - EC .....	100
Figura 4.17: Velocidad máxima en S1 - ED .....	101
Figura 4.18: CV de la mano ejecutora – GC .....	104
Figura 4.19: CV de la mano ejecutora – EC .....	104
Figura 4.20: CV de la mano ejecutora – ED .....	105
Figura 4.21: Módulo velocidad del S1 y su CV en el TI - sujeto GC .....	105
Figura 4.22: Módulo velocidad del S1 y su CV en el TF - sujeto GC .....	106
Figura 4.23: Módulo velocidad del S1 y su CV en el RT - sujeto GC .....	106
Figura 4.24: Módulo velocidad del S1 y su CV en el TI - sujeto EC .....	107
Figura 4.25: Módulo velocidad del S1 y su CV en el TF - sujeto EC .....	107
Figura 4.26: Módulo velocidad del S1 y su CV en el RT - sujeto EC .....	107
Figura 4.27: Módulo velocidad del S1 y su CV en el TI - sujeto ED .....	108
Figura 4.28: Módulo velocidad del S1 y su CV en el TF - sujeto ED .....	108

Figura 4.29: Módulo velocidad del S1 y su CV en el RT - sujeto ED ..... 108

Figura 4.30: Distribución del porcentaje de patrones GC ..... 111

Figura 4.31: Distribución del porcentaje de patrones EC ..... 111

Figura 4.32: Distribución del porcentaje de patrones ED ..... 111

Figura 4.33: Diagramas de posición sujeto GC ..... 114

Figura 4.34: Diagramas de posición sujeto EC ..... 115

Figura 4.35: Diagramas de posición sujeto ED ..... 116





# Introducción



## I. INTRODUCCIÓN

Esta tesis doctoral, dentro de las ciencias del deporte, desarrolla una investigación sobre la metodología de práctica denominada aprendizaje diferencial o entrenamiento diferencial, para estudiar el efecto que esta tiene en el rendimiento y cinemática del aprendizaje de la técnica del saque de arriba en apoyo del voleibol, en un nivel de iniciación.

En este primer capítulo se abordan las bases teóricas que fundamentan el presente estudio. Los conceptos vertidos, hasta llegar a la formulación de la investigación, se organizaron estableciendo una línea temporal de la evolución en el conocimiento de la conducta humana y sus procesos de aprendizaje en relación a las diferentes teorías que postulan ese aprendizaje desde la faz motora de la persona, desarrollando, en cada una de ellas, la descripción de las condiciones de práctica que proponen. Dentro de los procedimientos de práctica se detallará de manera puntual la variabilidad desde la óptica de la teoría de los sistemas dinámicos y con ella la metodología del entrenamiento diferencial.

En el apartado I.3 se exponen conceptos básicos referidos al saque de arriba en apoyo del voleibol.

- I.1 Evolución del aprendizaje motor
  - I.1.1 Modelos conductuales de aprendizaje
  - I.1.2 Aprendizaje motor
  - I.1.3 Organización de la práctica
- I.2 Aprendizaje motor y entrenamiento diferencial
  - I.2.1 Principios de la teoría de los sistemas dinámicos
  - I.2.2 El entrenamiento diferencial
- I.3 Voleibol: el saque
- I.4 Formulación de la investigación

## I.1 EVOLUCIÓN DEL APRENDIZAJE MOTOR

### I.1.1 Modelos conductuales de aprendizaje

Para el estudio del movimiento humano es menester comprender la manera en que se producen cambios en la conducta como efecto del aprendizaje.

El término aprendizaje puede encontrarse definido de distintas maneras según sean las concepciones que posean los autores. Según Domjan (2010) se trata de “... *un cambio duradero en los mecanismos de conducta que implica estímulos y/o respuestas específicas y que es el resultado de la experiencia previa con esos estímulos y respuestas con otros similares*”.

Es posible identificar los principales estudios realizados para comprender el proceso de aprendizaje agrupándolos bajo los siguientes modelos en el esquema que se muestra a continuación:

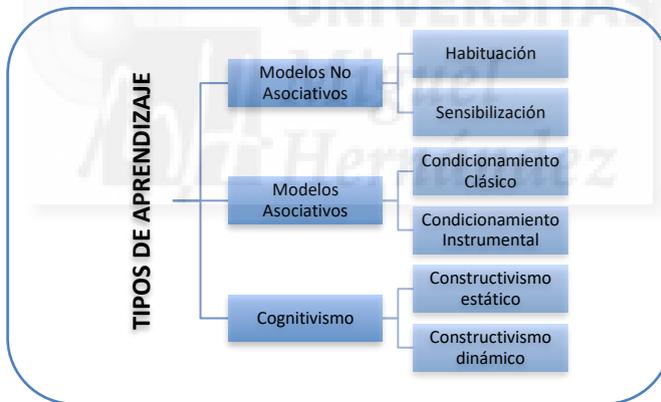


Figura 1.1. Tipos de aprendizaje

El aprendizaje *no asociativo* (también llamado aprendizaje implícito) entienden que el aprendizaje ocurre de manera incidental, y que no se requiere conciencia en cuanto a los contenidos o procedimientos que se están aprendiendo. El cambio de conducta surge como resultado de la experiencia repetida de un único estímulo.

Los trabajos científicos del nobel Eric Kandel (1929 a la actualidad) están vinculados al estudio de este tipo de aprendizaje. A través de los experimentos que llevó a cabo con la ‘*aplysia californica*’, un tipo de caracol con un sencillo sistema nervioso, analizó las dos formas en que aprenden nuestras células: *la habitación*, que

correspondería a la forma más primitiva de aprender de algunas neuronas disminuyendo su actividad ante un estímulo conocido, y *la sensibilización*, que responde al proceso contrario en donde las neuronas aumentan su respuesta ante un estímulo intenso o significativo (Kandel & Marengo, 2007).

De los principios del aprendizaje asociativo se puede reconocer en la teoría del Dualismo de Descartes del siglo XVI (conducta voluntaria e involuntaria), las bases de un importante pilar de la teoría del comportamiento que considera a las acciones ejecutadas por las personas como respuestas automáticas (reflejos) producidas por estímulos externos. Posteriormente, en el siglo XIX, los procesos fisiológicos responsables de los reflejos se comprendieron mejor y con ello se establecieron principios destacados del aprendizaje tales como ‘el condicionamiento’, ‘la extinción’ y la ‘generalización del estímulo’.

El fisiólogo ruso Iván Pavlov y el psicólogo norteamericano Edward Thorndike pusieron a prueba en el laboratorio el concepto filosófico que se aprende mediante la asociación de ideas. Pavlov (1927), pionero en los experimentos sobre las asociaciones estímulos-respuestas (reflejo de salivación en perros), introdujo las nociones del reflejo adquirido o condicionado, según el cual una respuesta puede *asociarse* a un estímulo que originalmente no lo provoca, constituyendo así el mecanismo de comportamiento conocido como *condicionamiento clásico*. Pero fue el psicólogo estadounidense Watson (1878-1958), quien impulsó esta línea de investigación e instauró una de las principales corrientes psicológicas que tomó el nombre de *conductismo* (Santoianni & Striano, 2006).

El conductismo sostiene que, más allá de los reflejos innatos y de las emociones de base, cada aspecto del comportamiento es adquirido ambientalmente en una larga y compleja cadena de estímulos condicionados y asociados a respuestas condicionadas: cada respuesta aprendida puede convertirse en un estímulo para una nueva respuesta bajo sucesiones estímulo-respuesta relacionadas al ambiente. La observación directa de las acciones de un sujeto es la forma en la que se emprende el estudio del comportamiento.

Thorndike (1874-1949), por su parte, develó el *condicionamiento instrumental* a través de diversos estudios del comportamiento definiendo leyes que consolidan (ley de uso) o debilitan (ley de desuso) la relación entre esos estímulos y respuestas: las leyes del ejercicio y del efecto. Este modelo de condicionamiento de Thorndike se lo considera como *operante* porque la respuesta observada es *instrumental* en la acción para obtener aquello que se quiere conseguir. Aquí se empieza a otorgar significación al individuo que actúa en el ambiente seleccionando y organizando sus propias respuestas.

A partir de la segunda mitad del siglo XX el positivismo lógico, que constituía la base epistemológica del conductismo, fue cuestionado por nuevas corrientes filosóficas por considerarse una concepción sensorialista, conexionista y reduccionista que no daba cuenta de las conductas humanas complejas. El cambio de paradigma sobrevino de la mano de las nuevas tecnologías cibernéticas y con la Teoría de los Sistemas de Von Bertalanffy y la Teoría de la información de Shanon y Weaver, se alimentaron aquellas teorías del aprendizaje que entienden a la actividad mental como el proceso de la información que realiza un ordenador (Torrents, 2005).

Estas teorías del procesamiento de la información, que consideran al ser humano como un servosistema, se apoya en los modelos de la psicología cognitivista que destacan el interés por los procesos internos como la memoria, la atención, la emoción y la reproducción motora.

En la psicología *cognitivista* puede hablarse de dos líneas claramente marcadas, una de naturaleza más mecanicista y asociacionista, referenciando a un *constructivismo estático* que proviene de la teoría del procesamiento de la información y, la otra más organicista y estructuralista, que reseña a un *constructivismo dinámico* (Pozo, 1989). Los principales exponentes fueron Bartlett (1886-1969) y su teoría de los Esquemas, Piaget (1896-1980) con la teoría del Desarrollo cognitivo y de la inteligencia, Vygostki (1896-1934) hizo su aporte sobre la idea fundamental del constructivismo social, Bruner (1915-1916) basó sus estudios en el aprendizaje por descubrimiento, Bandura (1925) con la teoría Social-cognitiva y Ausubel (1918-2008) abogó por el puente

cognitivo en base a conocimientos previos para conseguir un ‘aprendizaje significativo’.

De manera sintética puede apreciarse como la comprensión de la conducta humana dejó de reducirse a meras manifestaciones fisiológicas (conductismo) para darle un significado más funcional dando lugar a reorganizaciones entre organismo y entorno o entre organismo y estados internos propios (Pedraja, 2001).

Pedraja (2001) afirma que en la actualidad conviven constructos y modelos que provienen de corrientes dispares como el de la motivación (psicoanálisis), la percepción o humanística (Gestalt), el reforzamiento (Conductismo), la sistémica (Teoría Gral. de los sistemas), etc.

### 1.1.2 Aprendizaje motor

El aprendizaje supone un proceso de modificación de la conducta, más exactamente un cambio estable de la conducta como consecuencia de la práctica (Oña, Martínez, Moreno & Ruiz, 1999). En el caso del aprendizaje motor, las conductas modificadas serían las motoras.

Los primeros acercamientos sobre el estudio del aprendizaje motor pueden asociarse a los avances en el campo del conocimiento de la psicología, a los postulados que en paralelo surgieron de las investigaciones en el área de la neurofisiología y, al enriquecimiento de los descubrimientos en las ciencias exactas desde fines del siglo XIX. (Oña et al., 1999)

En 1971 la publicación de la Teoría del Bucle Cerrado de Jack Adams supuso una revolución en el campo del aprendizaje y control motor siendo la primera formulación de un modelo teórico sobre los procesos en el aprendizaje de las habilidades motrices (Schmidt & Lee, 2011).

Sin embargo, los preceptos actuales pueden remontarse aún más atrás en los tiempos. Desde la perspectiva mecanicista de Descartes y Newton a la visión holística y ecologista actuales, es posible extraer elementos que han ido nutriendo teorías y modelos que hoy es posible revisar y sobre la cual apoyar el quehacer profesional de

las ciencias de la actividad física.

En sus albores el estudio sobre el aprendizaje motor estuvo relacionado al mundo laboral para optimizar tareas manuales en las cadenas de montaje dentro del campo industrial (Stimpel, 1933 en Schmidt et al., 2011). Poco a poco se produjo un cambio de orientación en las producciones científicas volviéndose más sistemáticas, objetivas y específicas de habilidades motrices, dejando de ser un medio, para convertirse en objeto de estudio. Puede afirmarse que durante la 2ª guerra mundial y el período posterior a esta, las investigaciones relacionadas con el aprendizaje motor aumentaron con el objetivo de seleccionar y formar personal idóneo para tareas relacionadas al conflicto bélico (manejo de armas, pilotaje de aeronaves, control de maquinarias, etc. (Schmidt & Lee, 2011).

En la década de los sesenta las investigaciones del aprendizaje motor comenzaron a efectuarse por profesionales de la actividad física como consecuencia de la creación de facultades e institutos de educación física. Franklin Henry (1904-1993), considerado el padre de las investigaciones en comportamiento motor, diferenció sus estudios, de los que tradicionalmente se venían efectuando, con la inclusión de tareas que involucraban a todo el cuerpo y en algunos casos también, con acciones rápidas representativas de algunos deportes.

Bajo la perspectiva de la teoría del procesamiento de la información, uno de los modelos que interpretan el comportamiento motor es el *modelo de programas motores restringidos* desarrollado por Henry y Roger (1960). Este modelo entiende que el procesamiento humano de la información se realiza de manera serial y a través de un canal único de atención. La teoría de reacción neuromotora que ambos autores denominaron *Memory Drum*, trata de la memorización de habilidades motoras. Esta teoría se apoya en la idea que el aprendizaje de las habilidades motoras es específico, no teniendo casi en cuenta las transferencias, a menos que las habilidades sean casi idénticas (Schmidt & Lee, 2011). En la actualidad este constructo teórico no es muy avalado por el entorno investigador mundial, aunque sirvió como sustento para el desarrollo de otras teorías.

La Teoría del Bucle Cerrado de Adams (1971), nacida también desde el posicionamiento cognitivista, tiene un marcado carácter cibernético y da muestra de superar algunas limitaciones del conductismo como, por ejemplo, la Ley del Efecto de Thorndike. Adams, concibe en su teoría, que la participación del sujeto en el aprendizaje es activa y todos los movimientos los realiza sobre la información que proporciona la retroalimentación de la práctica. En cada ensayo el sistema nervioso va registrando el movimiento a modo de *huella perceptual* hasta establecer una especie de colección de huellas perceptuales que, según sea el estado del aprendizaje, producirá más o menos movimientos incorrectos. Cuanta más práctica se realice, se consigue aprender a reconocer la ejecución correcta del movimiento y minimizar los movimientos “incorrectos”. La selección e iniciación del movimiento la realiza otro componente que Adams llamó *huella memorizada*, una especie de programa motor limitado que tiene la función de iniciar el movimiento. La huella perceptual entonces cumpliría la función de reconocimiento, mientras que la huella memorizada se encargaría de los procesos de recuerdo (Schmidt & Lee, 2011).

De los constructos teóricos de Henry y Adams surge el modelo del *programa motor generalizado* de Richard Schmidt conocido como Teoría del Esquema Motor (Schmidt, 1975, 1988, 1992; Schmidt y Lee, 2011) que se fundamenta en:

- La existencia de órdenes centrales para ejecutar determinadas habilidades en ausencia del feedback.
- El control de los elementos invariantes de una familia de movimientos. Estos invariantes son: la duración relativa, la fuerza relativa y el orden de las acciones.

La noción de esquema hace referencia a “una regla que relaciona los diversos resultados de los miembros de una clase de acciones con los parámetros que determinan el resultado” (Schmidt & Lee, 2011). Para Schmidt, el movimiento humano surge a partir de la elaboración de un programa motor que tiene en cuenta cuatro elementos:

- Las condiciones iniciales (posiciones corporales, peso de los objetos, etc.) que son recogidas por los diferentes receptores sensoriales para iniciar el movimiento.
- Parámetros asignados a priori al movimiento (velocidad, fuerza, etc.). Determinación de los aspectos variables necesarios para la ejecución del movimiento.
- El feedback sensorial asignado a la ejecución. Consecuencias sensoriales captadas por los receptores específicos.
- El conocimiento de los resultados. Grado de éxito conseguido.

Estas cuatro fuentes de información serán interrelacionadas a través de dos tipos de esquemas, que Schmidt denominó: *esquema de recuerdo* y *esquema de reconocimiento*.

La teoría basada en el concepto del programa motor encontró críticas al no emplear un lenguaje común con otras ciencias (biología, física, etc.) y por no contemplar la naturaleza compleja del ser humano en cuanto a flexibilidad y adaptabilidad en la ejecución de la tarea (Torrents & Balagué, 2007).

Actualmente, las teorías antes expuestas basadas en el modelo cognitivo del procesamiento de la información, son cuestionadas en investigaciones que buscan otra alternativa para explicar el aprendizaje y control motor en el ser humano. La teoría ecológica y la teoría de los sistemas dinámicos, son dos de estas perspectivas que más adelante serán desarrolladas.

### 1.1.3 Organización de la práctica

Según el modelo comportamental de aprendizaje que se asuman, se plantearán en la práctica las condiciones que permitan la adquisición, modificación o control de una conducta para que se desarrolle el aprendizaje de las tareas motrices. *La práctica sería entonces los distintos procedimientos o técnicas utilizadas para la administración, organización y control de la información necesaria para producir el aprendizaje* (Moreno & Luis del Campo, 2004).

El ensayo, como unidad básica de la práctica, puede ser agrupado en bloques y series para conformar las diferentes sesiones de aprendizaje. La decisión a tomar es cómo distribuir la frecuencia y duración de estos ensayos en la sesión, con el fin de conseguir el mejor rendimiento.

En la planificación de una sesión puede organizarse la práctica de manera *concentrada* o *distribuida*, y según sea la naturaleza de la tarea, esta podrá abordarse metodológicamente de manera *analítica* o *global*, desarrollando ejercitaciones donde se aplique *interferencia contextual*, *variabilidad* o *consistencia* para la ejecución de la habilidad deportiva (Figura 1.2) (Schmidt & Lee, 2011; García, Moreno, Luis del Campo & Reina, 2005).

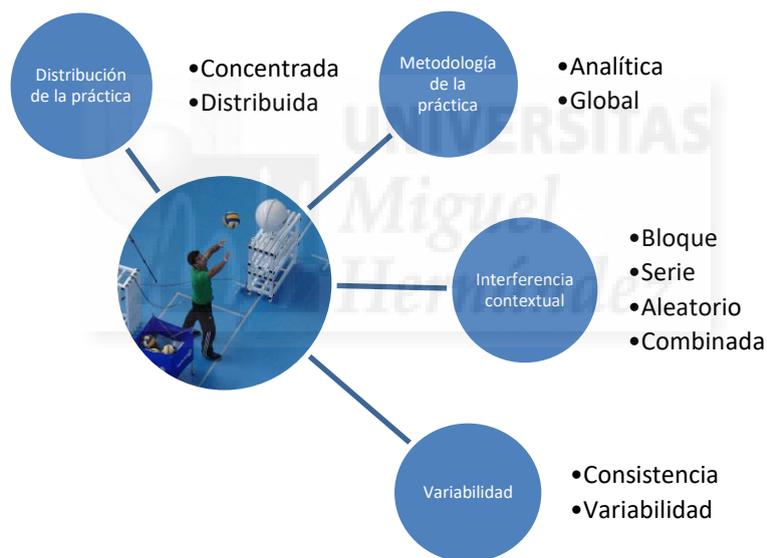


Figura 1.2. Organización de la práctica

En **la distribución de la práctica** se tienen en cuenta tanto los tiempos de práctica, como los de descanso. Será *concentrada*, cuando los tiempos de descanso entre tareas no existan o sean muy breves en relación a los períodos largos de tareas entre los ensayos. La demanda energética es elevada, por lo que generalmente, la fatiga es un factor constante en este tipo de práctica. Por el contrario, cuando los intervalos de descanso entre los ensayos son mayores o iguales que las propias tareas se dice que la práctica es *distribuida* (Schmidt & Lee, 2011).

Diversos estudios se realizaron para determinar cuál sería la mejor opción para distribuir la práctica, argumentando en su mayoría, que depende del tipo de habilidad a trabajar, es decir, las conclusiones son variadas según se tratara de habilidades *continuas* o *discretas*. En la práctica concentrada parece que cuando se la aplica a habilidades *continuas* (nadar o tocar el piano) afecta sobre el rendimiento durante la sesión, pero no sobre el aprendizaje, porque a posteriori de un período de descanso, se puede comprobar que se alcanzan niveles similares a los obtenidos en la práctica distribuida (Oña et al., 1999). Para habilidades *discretas*, como un lanzamiento de jabalina o un saque de voleibol, algunos trabajos indican que la práctica concentrada no afecta al rendimiento ni al aprendizaje (García et al., 2005).

**La metodología de la práctica** puede ser analítica o global. De manera *analítica* se busca realizar los gestos técnicos de forma fraccionada o aislada, descomponiendo en la práctica el movimiento total en partes para luego, de forma progresiva, realizar el gesto completo. Cuando la metodología es *global* el énfasis se pone en situaciones de enseñanza cercanas al juego real.

El empleo de un planteamiento u otro, va a depender de las características de la habilidad a trabajar. En general cuando la habilidad es simple y está constituida de partes muy integradas, secuenciadas y la capacidad del ejecutante es la adecuada, se establecen las condiciones para aplicar la metodología global. El procedimiento analítico se recomienda para aquellos gestos técnicos complejos que pueden ser discriminados en fases y en donde la sincronización de esas fases no es fundamental para el movimiento global.

Como Fitts y Posner (1968, en Ruiz, 1994 p. 212) expusieron: *“... si los componentes de la habilidad son independientes entre sí, es mejor practicar por separado cada parte... Si la habilidad ocasiona una realización sincronizada de sus componentes hay que trabajar para integrarlas”* (p. 212)

Estudios al respecto de la conveniencia de utilizar una u otra metodología, en general determinan que discontinuar el patrón de coordinación, de una habilidad en particular, produce una transferencia insignificante para movimiento global (Schmidt

& Lee, 2011). Davids y colaboradores (1999) en una investigación sobre la coordinación del lanzamiento de la pelota y el golpe en el saque de voleibol concluyeron, que la práctica analítica conducía a los aprendices a explorar sobre zonas de atractores erróneas en la búsqueda de estabilizar el movimiento.

La **interferencia contextual** hace referencia a la cantidad relativa de interacciones creada al integrar dos o más actividades a un aspecto particular de una determinada tarea. El manejo de los niveles de la interferencia contextual repercutirá de distinta manera en la retención y transferencia de las tareas a aprender (Moreno, García, Reina, Luis del Campo, Ruiz & Díaz, 2006). Jarus y Goverover (1999) en su estudio, definen la interferencia contextual, como las *“interacciones de las variables presentes durante el proceso de adquisición y el posterior efecto en la memoria y la transferencia de habilidades”* (p. 37).

Shea y Morgan entre los años '70 y '80, basándose en los estudios de Battig (1966) sobre la interferencia intratarea o contextual, analizaron el efecto que producen las diferentes variaciones de un programa de práctica sobre el aprendizaje y la retención motora. Los tres tipos de programas de práctica pueden ser: en *bloque*, en *serie* o *aleatorio*. La práctica en bloque organiza la sesión con ejercicios de un gesto técnico a la vez (AAA, DDD, GGG,...), pasando al siguiente después de agotadas las tareas para esa técnica. Una práctica abordada de manera aleatoria (ADG, DGA, GAD,...) alterna la ejercitación de las habilidades durante la sesión y, por último la práctica seriada combina las anteriores trabajando por bloque la variedades técnicas (ADG, ADG, ADG,...). Se considera un *bajo nivel* de interferencia contextual a la práctica en bloque, y un *alto nivel* de interferencia contextual a la práctica aleatoria.

Los efectos de la interferencia contextual (grado de estabilidad de una secuencia de adquisición) han sido estudiados (Menayo, Moreno, Reina & Fuentes, 2009; Moreno et al. 2006; Smith y Penn, 1999) y existe cierta tendencia, cuando se administra una alta interferencia contextual, a que en la fase de adquisición de la habilidad se produzca un descenso en el rendimiento pero luego se consiguen mayores niveles de retención a medio y largo plazo, facilitando a su vez la transferencia a otras tareas de

similar estructura. Asimismo, las tareas con bajos niveles de interferencia contextual parecerían que permiten alcanzar mejores niveles de rendimiento una vez de finalizado el período de adquisición (Wegman, 1999 en García et al., 2005) pero luego tienden a disminuir en la fase de retención dificultando la transferencia.

La **variabilidad en la práctica** surge a partir de la teoría del esquema motor de Schmidt (1975) como proceso para favorecer la generación de los programas motores, como antes se ha mencionado. Moxley (1979), apoyándose en las propuestas teóricas de Schmidt (1975), elaboró la hipótesis de la variabilidad al practicar que responde a una práctica motriz variada y no repetitiva alrededor de un esquema motor, con el fin de ampliar el repertorio de experiencias y aprendizajes motrices.

Estudios realizados a partir de la aplicación de la variabilidad parecen coincidir en la necesidad de alternar una serie de condicionantes que Barreiros (1991, citado por Ruiz, 1995), clasifica como: condicionantes espaciales, temporales, instrumentales, humanos y metodológicos de la tarea. Además de ello, la variabilidad implicará modificar aspectos como la intensidad y participación de las diferentes cualidades físicas, en distintos niveles de dificultad.

La práctica variable es una propuesta común a otras teorías del aprendizaje como las basadas en las teorías de la complejidad, dentro de la cual, se encuentran el aprendizaje diferencial, la dinámica ecológica y la pedagogía no lineal (Davids et al. 2008; Schmidt & Lee, 2011; Schöllhorn, 2000). Según sea el modelo elegido, la propuesta de variación en los ejercicios tendrán supuestos y métodos muy diferentes.

En el siguiente apartado se desarrolla la práctica variable desde los preceptos que sostiene el entrenamiento diferencial como procedimiento basado en la teoría de los sistemas complejos y que se interpreta bajo los principios de la teoría de los sistemas dinámicos.

## **I.2 APRENDIZAJE MOTOR Y ENTRENAMIENTO DIFERENCIAL**

### **I.2.1 Principios de la teoría de los sistemas dinámicos**

Desde el reduccionismo analítico, donde el mundo se concibe mecánicamente y se conoce el funcionamiento de un sistema a través del análisis de sus partes, hasta la visión ecológica de redes de fenómenos interconectados e interdependientes (con el hombre como una hebra más en esa trama), a lo largo de la historia de la ciencia, diversos paradigmas han estudiado la relación entre el comportamiento y las causas que lo generan. Estos paradigmas han influido, como se ha visto en el apartado anterior, en el estudio del aprendizaje motor a lo largo de los años.

La concepción de los sistemas biológicos como un todo que interactúa con el medio y los nuevos conocimientos de las ciencias matemáticas para el cálculo de ecuaciones no lineales, que explican el comportamiento de los sistemas complejo, han contribuido a la extensión de la Teoría de los Sistemas Dinámicos (TSD) en el comportamiento motor.

La TSD postula que la inmensa mayoría de los procesos biológicos, sea a escala química o a escala conductual, se rigen por los mismos patrones de organización dinámica. Por eso, su atención se centrará sobre la organización de los elementos del sistema, considerando inicialmente el material o la forma de los componentes como un dato irrelevante. Los cambios en el patrón del sistema serían consecuencia de la naturaleza abierta de los organismos vivos que, en su constante intercambio con el exterior, rompen a menudo su equilibrio termodinámico. De esta manera se vuelven inestables, iniciando una serie de cambios que dan lugar a la nueva disposición estable hacia la que tienden.

La aplicación de la teoría de los sistemas dinámicos en los sistemas complejos que integran las ciencias de la actividad física y el deporte proviene de la interdisciplinariedad manifestada en las últimas décadas en el ámbito científico (Glazier, Davids & Bartlett, 2003).

Muchas investigaciones han empleado los conceptos y las técnicas de la teoría de los sistemas dinámicos para capturar, estudiar y entender las transiciones estructurales

que ocurren en el fenómeno de la coordinación motriz en relación con el aprendizaje.

Desde la perspectiva de los sistemas complejos, algunos de los conceptos que se utilizan para describir el comportamiento motor y que tienen especial interés en los objetivos de la presente tesis doctoral son los siguientes:

**Auto-organización:** Es la aparición espontánea de nuevas estructuras y nuevos modos de comportamiento en sistemas lejos del equilibrio, caracterizada por bucles de retroalimentación interna y descrita matemáticamente en términos de ecuaciones no-lineales (Capra, 1998).

**Parámetros de orden:** También denominadas variables colectivas porque caracterizan y representan al sistema capturando su comportamiento coordinativo sin aislar a sus componentes (Balagué et al., 2011). Un ejemplo de parámetro de orden puede ser en el caso de un salto, el tiempo de vuelo, en el saque de voleibol, la velocidad del movimiento del brazo, etc.

**Espacio de estados:** Es el rango de valores que pueden tener las distintas variables del sistema complejo. Corresponde al espacio matemático abstracto que devela los patrones.

**Espacio de fases:** Es la representación del comportamiento del sistema dinámico en el *espacio de estados* y corresponde al área de solución de todos los posibles movimientos disponibles de una persona (sistema complejo) para dar respuesta a una tarea específica.

**Trayectoria:** Describe el comportamiento del sistema en un intervalo de tiempo. Todas las trayectorias iniciadas dentro de una cierta región de *espacio de fase* desembocarán, antes o después, en un mismo *atractor*.

**Atractor:** Es un conjunto de puntos en el *espacio de estados* que atrae la trayectoria. Pueden tener distintos grados de estabilidad o inestabilidad y se representa mediante funciones potenciales. Incluye los estados del sistema hacia los que tiende, y representa su comportamiento en estado de equilibrio dinámico.

Para pasar de un patrón coordinativo a otro se tiene que desestabilizar el primer atractor para que emerja el siguiente.

**Metaestabilidad:** Es un importante estado que se observa en los sistemas complejos cuando permanecen en equilibrio entre la estabilidad y la inestabilidad definiéndolo como sistemas ‘dinámicamente estables’. (Kelso 2008 en Chow, Davids, Hristovski, Araújo & Passos, 2011).

**Parámetros de control o constreñimientos:** Es una variable externa (o fuente de energía) que puede conducir al sistema complejo a diferentes *patrones* de comportamiento. El *parámetro de control* no aporta información sobre la naturaleza de los cambios de *patrones*, pero conduce al sistema a través de varios *patrones* que son el resultado de las propiedades de *auto-organización* de un sistema lejos del equilibrio (Capra, 1998). Según Newell (1996), las dinámicas del movimiento son propiedades emergentes de los *constreñimientos* que proceden de tres fuentes: el organismo (características de la persona respecto a su genotipo o fenotipo, sus motivaciones, emociones, habilidades físicas o cognitivas, etc.), el entorno (luz, temperatura, altitud, ambiente social, cultural, etc.) y la tarea. El comportamiento crítico de un sistema no lineal se produce por un aumento de la variabilidad ante el cambio de *parámetro de control*.

**Fluctuaciones:** Surgen ante las variaciones de los *parámetros de control* aumentando la interacción entre los componentes y provocando inestabilidad en el sistema.

Los sistemas vivos existen en medios de continua *fluctuaciones* pero resulta imposible conocer qué fluctuación se producirá en el punto de bifurcación y en el momento oportuno como para poder predecir el camino futuro del sistema (Capra, 1998). Las *fluctuaciones* tienen un rol tanto práctico como conceptual en la dinámica de la coordinación (Kelso, 1997). El aumento de las *fluctuaciones* produce la desestabilización de los acoplamientos existentes que llevan al sistema a la pérdida de estabilidad y al establecimiento de nuevo estado que satisface a los nuevos constreñimientos (Balagué & Torrents, 2011)

**Bifurcaciones:** Son puntos de evolución del sistema en que repentinamente aparece un desvío hacia una nueva dirección. Matemáticamente estos puntos marcan cambios súbitos en la *trayectoria* del sistema en el *espacio de fase* (Capra, 1998).

Llegado al punto de *bifurcación*, el sistema puede ‘elegir’ entre varios caminos o estados posibles. La ‘elección’, que no puede en ningún caso ser pronosticada, dependerá de los antecedentes del sistema y de varias condiciones externas. Es un momento de inestabilidad, en el que nuevas formas de desorden pueden surgir espontáneamente, originando el desarrollo y la evolución.

### **Análisis y comportamiento de un sistema dinámico**

El análisis cualitativo de un sistema dinámico consiste en identificar los *atractores* y *cuencas de atracción* del sistema y clasificarlos según sus características topológicas.

El resultado es un dibujo dinámico del sistema completo llamado el *retrato fase*. Los métodos matemáticos para analizar retratos fase se basan en el trabajo pionero de Poincaré (1854-1912) y fueron desarrollados y redefinidos por el topólogo norteamericano Stephen Smale a principios de los años sesenta.

Los *atractores* pueden desaparecer o intercambiarse y nuevos atractores pueden surgir súbitamente. Los sistemas complejos se definen como estructuralmente inestables y los puntos críticos de inestabilidad, *puntos de bifurcación*, aparecen repentinamente en la evolución del sistema provocando un desvío hacia una nueva dirección. Físicamente corresponden a puntos de inestabilidad en los que el sistema cambia abruptamente y aparecen de repente nuevas formas de orden.

El movimiento coordinativo no lineal se ejemplifica tradicionalmente a través del experimento de Hanken, Kelso y Bunz (Wallace, 1997), que consistió en mover los dedos índices de cada mano de lado a lado al ritmo de un metrónomo. A los participantes se les indicó que no modificaran el movimiento en forma consciente. En un valor crítico de frecuencia (*parámetro de control*) se pudo observar que el movimiento cambiaba a moverse en fase, resultando el fenómeno de *auto-organización* y demostrando la existencia de dos patrones de movimientos con dos estados estables con sus propios *atractores*. La *bifurcación* se observó a partir de un

valor preciso del parámetro de control, produciéndose fluctuaciones en la zonas anteriores a la relación de fase.

El saque de voleibol se considera una habilidad compleja porque implica un alto nivel de coordinación entre todos los componentes que intervienen en su ejecución para hacer coincidir temporal y espacialmente con el auto-lanzamiento de la pelota (Davids, Bennett, Handford & Jones, 1999). Como ejemplo de aplicación de los conceptos de la TSD a una situación de aprendizaje de la técnica del saque de voleibol, se propondría como tarea al aprendiz que lanzara bien alta la pelota por delante de él y que después que esta bote, intente pegarle con la mano lo más arriba posible. En el ejercicio propuesto se puede tomar como *parámetro de control* la altura de impacto de la pelota. Las distintas posiciones de las mano, brazo y cadera, las velocidades del movimiento y las relaciones de fases de los componentes que participan en la ejecución serían los *parámetros de orden*. En el proceso de resolución surgirá el fenómeno de *auto-organización* con los propios *constreñimientos* del aprendiz (longitud del brazo, experiencia en un movimiento similar, etc.), de la tarea (altura que alcance la pelota después del bote, distancia, posición, etc.) y del ambiente. Durante la ejecución se podrá observar la inestabilidad del sistema provocado por la perturbación del movimiento fuera de la cinética del saque, alejándolo de los *atractores* propios y moviéndolo a otro punto de su *espacio de fase*. La dificultad de la tarea pretende provocar fluctuaciones en la coordinación del movimiento para inducir a la emergencia de un nuevo patrón que aumente el acervo motor del sujeto.

### 1.2.2 Entrenamiento diferencial

Las aproximaciones de la teoría general de sistemas complejos aplicada al aprendizaje motor están siendo extrapoladas al entrenamiento deportivo como alternativa a los procedimientos tradicionales aplicados para la mejora de gestos técnicos (Torrents, Balagué, Perl, & Schöllhorn, 2007). Dichas aproximaciones proponen dos cuestiones importantes que le diferencian de las metodologías de entrenamiento de la técnica más tradicionales: (i) la individualidad del movimiento,

alejándose de modelos teóricos “ideales”, y (ii) la concepción de las desviaciones del movimiento como un camino hacia la adaptación técnica y no como una interferencia negativa (Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell & Michelbrink, 2009).

Desde hace un par de décadas atrás, un equipo de investigación de Alemania encabezado por el Dr. Wolfgang Schöllhorn inició estudios sobre una línea que denominaron *Diferencial Learning* (en adelante, entrenamiento diferencial o ED). Motivado por conseguir atletas ‘extraordinarios’, el Dr. Schöllhorn en su rol de entrenador de alto rendimiento en diversas disciplinas, buscó ejercicios motivantes, divertidos y poco convencionales que dieron su fruto con importantes logros a nivel nacional e internacional (Strebel, 2013).

En la búsqueda para alcanzar el mejor rendimiento de un movimiento técnico, el entrenamiento diferencial modifica constantemente las acciones motrices, con tareas no habituales, para que el deportista encuentre la respuesta adecuada a cada una de las situaciones planteadas (Schöllhorn, Beckmann, Janssen & Drepper, 2010). Uno de los principios del ED es crear diferencias entre movimientos consecutivos, evitando la repetición del mismo, y aplicando el rol de las fluctuaciones durante el proceso de aprendizaje a través de perturbaciones estocástica (Schöllhorn, Mayer-Kress et al., 2009). El cambio permanente de estímulos promueve en el atleta la experimentación de una variedad de diferencias entre ejercicios que lo ayudan a encontrar su patrón de óptimo rendimiento, para una tarea dada y en un determinado contexto (interno y externamente definido).

Bernstein (1967, en Ruiz, 1998) concluía de sus estudios que:

*"El proceso de práctica para adquirir un nuevo hábito motor, consiste esencialmente en un éxito progresivo en la búsqueda de soluciones motrices óptimas a los problemas concretos. Por esta razón, cuando se lleva a cabo de manera adecuada, no consiste en repetir los medios para solucionar un problema motor una y otra vez, sino que consiste en un proceso de solucionar dicho problema una y otra vez por medio de técnicas que cambiamos y perfeccionamos de repetición en repetición"* (p.134).

Desde la perspectiva de los Sistemas Dinámicos, se puede decir que el aprendizaje

diferencial implica atractores que no son fijos sino que dependen del contexto, esto es, sin instrucciones concretas de la ejecución “correcta”, y que emergen debido a la auto-organización del sistema.

Los movimientos se consideran complejos y con característica no lineales, por la utilización de todos los componentes en un mismo momento y por el efecto del ruido del contexto (Schöllhorn, Hegen & Davids, 2012). Las tareas no se manipulan para conseguir la aparición de patrones de movimientos específicos sino que son orientadas a conducir al practicante al empleo de estrategias de coordinación que provocan el surgimiento de sus potencialidades individuales de forma espontánea (Chow, et al., 2011). La propuesta del ED es conseguir la emergencia de patrones individuales de movimiento que permitan alcanzar un nuevo estado de organización del sistema.

Dentro de este contexto teórico se pudo comprobar los efectos del ED en la mejora del rendimiento para el balonmano (Wagner & Müller, 2008 ), fútbol (Schöllhorn et al., 2012; Schöllhorn, Beckmann, Michelbrink, Sechelmann, Trockel & Davids, 2006; Trockel & Schöllhorn, 2003), baloncesto (Lattwein, Henz & Schöllhorn, 2014 ), carrera de patín (Savelsberg, kamper, Rabius, De Koning & Schöllhorn 2010), voleibol (Reynoso, Sabido, Reina & Moreno, 2013; Römer, Schöllhorn, Jaitner & Preiss, 2009 ), atletismo (Schöllhorn et al., 2010 ), hockey (Beckmann, Winkel & Schöllhorn, 2010 ) y en otras disciplinas deportivas, así como en el campo de la fisioterapia (Schöllhorn, Beckmann & Davids, 2010) y la enseñanza de la música (Albrecht, Janssen, Quarz, Newell, & Schöllhorn, 2014).

Como resultado de un entrenamiento diferencial se pretende que el atleta pueda responder de forma eficaz ante la demanda de rendimiento que requiera la situación de competencia en la que se encuentre, bajo la filosofía: “never practice the right thing in order to play right” (Schöllhorn, 2004 en Frank et al, 2008, p. 20).

Por tratarse de una propuesta más de práctica variable, es natural que se compare el entrenamiento diferencial con la práctica variable clásica que responde a la perspectiva de Schmidt sobre los esquemas motores. Como se ha mencionado

anteriormente, el esquema motor es un constructo que parte de la idea del programa motor generalizado y sostiene que en la realización de un acto motor se almacena en la memoria un esquema del movimiento, una estructura general o un patrón no del todo definido, que deberá actualizarse y reajustarse según cada contexto. Cuando se realiza un movimiento usando un esquema almacenado existen elementos que se conservan y se mantienen a lo largo de los ensayos, es decir permanecen *invariantes* y otros que son *variables* y sirven para diferenciarlo de otra ejecución (Schmidt 1975, en Oña et al, 1999).

Frank et al. (2008) afirman que no deben confundirse los estudios de variabilidad desde la hipótesis de los esquemas de Schmidt con los del entrenamiento diferencial, porque un programa de ejercicios en variabilidad desde la teoría del esquema, significa entrenar elementos del movimiento dentro de escalas apropiadamente definidas en el programa motor generalizado en cambio, entrenar desde la variabilidad del aprendizaje diferencial los invariantes no existen, no se fuerza al atleta a realizar un patrón de movimiento particular. Para Balague & Torrents (2011), la diferencia radica en que la práctica variable se focaliza en el enriquecimiento del esquema motor y el entrenamiento diferencial lo hace en la adaptación al cambio, con el objetivo de promover el proceso de auto-organización.

### **Principios metodológicos del ED**

Con el ED se trata de inducir una autogestión en el proceso de aprendizaje para la mejora del rendimiento según el propio contexto del deportista y dependiendo de sus habilidades y preferencias.

La propuesta desde este modelo (Schöllhorn, 2000) consiste en:

- Variar las condiciones iniciales y finales del movimiento.
- Cambio en los rangos y trayectorias del movimiento
- Modificación de los tiempos. Ritmo y duración del movimiento, así como producir cambios en la secuencia temporal.

Estas tres posibilidades de variación se pueden aplicar a todas las articulaciones implicadas en el movimiento incidiendo en los ángulos, velocidades y aceleraciones.

Además, el abanico de variedad de estímulos se incrementa cuando todas estas variables se combinan con situaciones de exclusión de alguna extremidad y/o el movimiento se ejecuta en ciertas condiciones particulares del atleta, como el nivel de fatiga o un estado psicológico especial.

En cuanto a la progresión, Schöllhorn (2000) sugiere que preferentemente al comienzo de un proceso de aprendizaje se haga hincapié en las variaciones de la geometría de los ángulos articulares, para que en un nivel avanzado se ponderen las variaciones sobre las velocidades y con expertos se orienten las tareas modificando las aceleraciones y los ritmos articulares.

En síntesis la propuesta de las tareas bajo la óptica del ED se basa en (Schöllhorn et al., 2010):

- ☞ Ejercicios nuevos y diferentes
- ☞ Repitiendo sin repetir
- ☞ Sin corrección del 'error técnico'
- ☞ Ejercicios exigentes: ayudan a los atletas a mantenerse alerta y estimulados eficazmente
- ☞ Varios niveles de dificultad (de acuerdo al nivel de rendimiento)
  - Noveles: Variar principalmente la geometría angular
  - Atletas avanzados: Variar velocidades
  - Atletas de alto rendimiento: Aceleraciones y ritmos articulares

Los beneficios encontrados en la aplicación del ED se podrían concretar en lo sgte.:

- ☞ Incremento en el repertorio de soluciones motoras. Desarrollo de adaptaciones rápidas y flexibles a las cambiantes demandas de la competencia (Schöllhorn, Mayer-Kress et al., 2009)
- ☞ Desafío, motivación y diversión en la presentación de las tareas (Benko & Lindinger, 2007)
- ☞ Disminución de lesiones (Schöllhorn, Beckmann & Davids, 2010)
- ☞ Potenciación en la búsqueda de una técnica ideal individual (Savelsbergh et al., 2010)

- ☞ Mayor retención del aprendizaje que con el entrenamiento en consistencia (Beckmann & Schöllhorn, 2003)

El entrenamiento diferencial todavía se encuentra cimentando sus bases teóricas comparando sus efectos con los demás formatos de variabilidad de la práctica.

El mayor porcentaje de los trabajos científicos en esta temática ha sido llevada a cabo por el equipo del Dr. Schöllhorn (más de 77 en la universidad Johannes Gutenberg –Mainz) y casi no se reportan cuestionamientos contrarios a los resultados obtenidos por ellos. Hasta el momento estos trabajos han registrado cambios en el rendimiento, pero poco se conoce sobre las modificaciones que se producen en las características del movimiento cuando los sujetos mejoran ese rendimiento en las etapas iniciales del aprendizaje de una habilidad motora.

### **I.3 VOLEIBOL: EL SAQUE**

El voleibol es un deporte de conjunto en el que se enfrentan dos equipos de seis jugadores en una cancha de 18 x 9 m, dividida en dos campos de 9 x 9 m por una red regulada a una altura superior a los 2 metros (varía según la categoría de los jugadores). El juego se inicia pasando el balón de un campo al otro a través del saque y, con la utilización de un máximo de tres toques, cada equipo buscará que este caiga directamente en el campo contrario o realizará acciones para provocar el error del equipo contrario. Un partido lo gana el equipo que primero cierra 3 sets a su favor (cada sets es a 25 puntos y a 15 puntos en el caso de un desempate en un 5º set).

En los inicios del voleibol, el saque era considerado únicamente como una puesta en juego del balón, pero con el transcurrir del tiempo se ha convertido en una acción de inicio de jugada técnico-táctica ofensiva muy importante. Los cambios reglamentarios de los últimos años, en pro de convertir al voleibol en un deporte más atractivo, espectacular y televisivo, influyeron de diversas maneras en la técnica del saque.

Según el reglamento vigente (Regla 12; Reglamento FIVB, 2013), el saque debe ser:

- Golpeado con una sola mano o cualquier parte del brazo.
- Lanzado o soltado de la/s manos antes de ser golpeado.

- Solamente efectuado en un intento, considerando intento una vez que se produce el lanzamiento de la pelota al aire.
- Ejecutado dentro de un límite espacial. El saque no puede ser realizado fuera de la zona de saque (la zona de saque es un área de 9 m de ancho detrás de cada línea final y en profundidad se extiende 3 m y en competencias mundiales y oficiales la zona saque es de 8 m.) ni en contacto con la cancha, incluyendo la línea final demarcatoria, en el momento del golpe.
- Efectuado dentro de un tiempo determinado. Este tiempo se inicia con el silbato que da la orden del saque el árbitro y los siguientes 8 segundos.
- Dirigido al otro campo con una trayectoria dentro del plano vertical de la red y por encima de esta o rosándolas sin que toque un jugador del mismo equipo o pase por sobre una pantalla (ubicación de jugadores dentro del campo del equipo sacador que impiden al equipo contrario visualizar al sacador).

Si bien reglamentariamente el saque no es considerado un golpe de ataque (Regla 13.1.1; Reglamento FIVB, 2013), tácticamente se entrena como primer elemento ofensivo del juego buscando el punto directo o la debilitación de las jugadas de ataque del contrario.

El gesto técnico del saque es una habilidad compleja que puede realizarse en apoyo o en salto, lanzando la pelota a distintas alturas (a nivel de cadera, a media altura entre cadera y hombro o por encima de la cabeza) y contactando el golpe con diferentes partes de la mano abierta o cerrada (puño). Esta variedades de golpes se encuadran en diferentes tipos de saque, que en términos voleibolísticos se denominan: saque de abajo, saque de arriba (flotante o de potencia) y saque en suspensión (flotante o potencia), entre los más utilizados.

Para este estudio, al tratarse de jugadores nóveles, se eligió el saque de arriba en apoyo por ser la técnica que mayormente se emplea en competencias iniciales y femeninas (García-Tormo, Castán, Valladeres & Rábago, 2006; Bailasha & Akpata,

2001 y Palao, Santos & Ureña, 2004) y porque metodológicamente es la que conviene enseñar a la población a la que pertenece la muestra de esta investigación. A continuación se describirá el movimiento del saque de arriba en apoyo diferenciando 4 momentos (FIVB, 2011a).

#### Posición inicial:

- Los pies están prácticamente perpendiculares a la red, quedando el contrario al brazo ejecutor adelantado sobre el otro, separados entre sí aproximadamente a una distancia igual que la anchura de la cintura apoyados en el suelo. Las rodillas ligeramente flexionadas. El peso del cuerpo deberá recaer principalmente en el pie retrasado. Esta postura será modificada para adaptarse mejor al jugador y a la trayectoria deseada para el balón.
- La pelota puede estar sobre la palma de la mano contraria al brazo ejecutor por delante de este y a la altura del pecho o puede ser estar sujeta con ambas manos también frente al pecho.
- Cuando la pelota está sobre una mano auxiliar, el brazo ejecutor se prepara elevado con el codo próximo a la oreja.

#### Lanzamiento:

- Con una o dos manos la pelota se lanza verticalmente frente al hombro del brazo ejecutor.
- La altura del lanzamiento debe ser igual o mayor al alcanzado por el brazo ejecutor extendido.
- Con el lanzamiento del balón se produce una torsión del tronco hacia el lado del brazo ejecutor retrasando el brazo que golpea la pelota levemente al tiempo que se flexiona un poco del codo bajando la mano.

#### Golpe:

- El golpe al balón se realiza en la parte posterior media o media-superior con el brazo semi-extendido y contactando con la totalidad de palma de la mano.
- El brazo ejecutor antes del impacto se va extendiendo mientras hace un desplazamiento corto de atrás hacia delante.

Posición final:

- Luego del golpe el peso del cuerpo pasa al apoyo de la pierna adelantada. Este cambio de apoyo favorece la incorporación del jugador al campo de juego.



Figura 1.3. Técnica del saque de arriba en apoyo

En relación a la táctica del saque se consideran como aspectos importantes la trayectoria, la precisión y la velocidad que este tenga, según la instancia o el momento del partido en que se esté jugando.

Las trayectorias pueden ser paralelas, diagonales cortas o diagonales largas (Figura 1.4), la precisión tendrá que ver con el punto de caída de la pelota y la velocidad vendrá dada por el tipo de saque que se haga y la distancia que recorra (saque corto o largo).

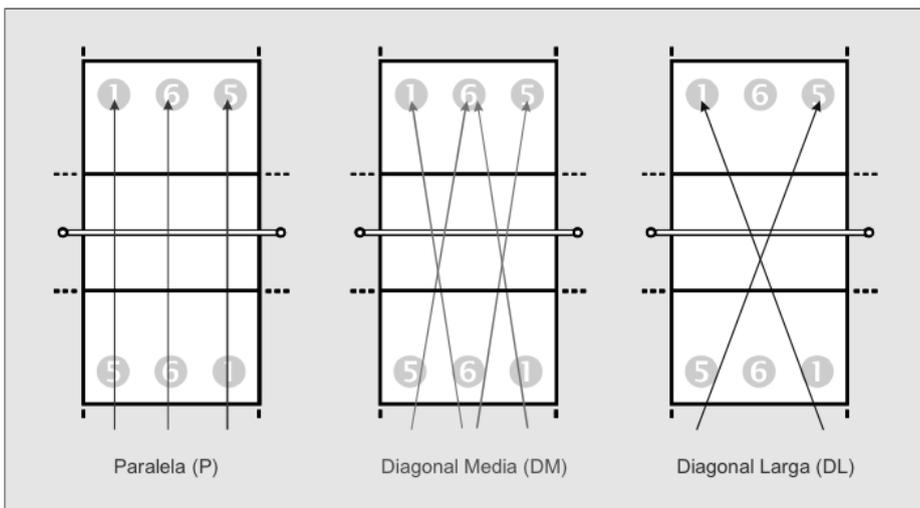


Figura 1.4. Gráfica de posibles direcciones del saque

Fuente: García-Tormo et al., 2006. Análisis del saque de voleibol en categoría juvenil femenina en función del nivel de riesgo asumido y su eficacia. *European Journal of Human Movement*, (16), 99-121.

Al saque en el voleibol se lo puede considerar como la única habilidad cerrada que tiene este deporte. Es de las escasas oportunidades que tiene el jugador de voleibol para disponer de tiempo antes ejecutar una técnica sin que le preceda una acción anterior. Durante ninguna otra fase del juego se tiene el completo control en la posesión del balón como con el saque. Asimismo este hecho supone mucha responsabilidad por parte del jugador que debe iniciar la jugada en un formato de juego “acción-punto” (*Rally Point System*) con una carga emocional importante.

Las estrategias de elección del objetivo del saque, por parte del jugador o del equipo técnico en un partido, considera factores como el momento de juego, distribución en el campo del equipo contrario y el propio, condiciones ambientales, espacios disponibles, etc. (Ureña, 2007). Ejemplos de objetivos del saque pueden ser:

- Jugadores con bajo rendimiento en recepción, de poca experiencia, fatigados, suplentes recién ingresados al campo, etc.
- Jugadores responsables de ataques rápidos o con recorridos largos
- Zonas de interferencia (espacio intermedios entre dos receptores)
- Zona de paso del colocador o que le condicionen la orientación de su pase.

En relación a este último objetivo se eligió para este estudio la zona 1 como lugar para colocar la diana indicatoria del punto de caída de la pelota. Los saques dirigidos detrás del colocador o de la zona de ubicación del colocador en un momento puntual de la rotación pueden provocar un error en el equipo receptor (FIVB, 2011b; Lozano, Calvo, Cervelló & Ureña, 2003; Gil Moreno, Moreno, García & Del Villar, 2010).

#### **I.4 FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta tesis doctoral, dentro de las ciencias del deporte, desarrolla una investigación sobre la metodología de práctica denominada aprendizaje diferencial o entrenamiento diferencial para estudiar su efecto en el rendimiento y cinemática del aprendizaje de la técnica del saque del voleibol para un nivel de iniciación.

A fin de dar un marco a esta modalidad de práctica en variabilidad que plantea utilizar el “error del sistema” como ingrediente fundamental para el aprendizaje (Schöllhorn, 2000), se hizo un repaso por los modelos del aprendizaje que

entendieron la conducta bajo distintas posturas antropológicas a través de la historia. Desde la concepción dualista del comportamiento de Descartes hasta la interpretación de la conducta con funciones análogas a un computador, se hizo un recorrido por los preceptos surgidos en torno a esta temática y se los relacionó además con las distintas teorías del comportamiento motor y sus metodologías de prácticas.

En los últimos años, junto a las interpretaciones cognitivas del comportamiento motor, la teoría de los sistemas dinámicos complejos ha aportado una perspectiva alternativa basándose en el estudio macroscópico de las relaciones individuo-entorno, donde la persona es considerada un sistema complejo, dinámico y abierto (Moreno & Ordoño, 2009). En esta línea, la variabilidad del comportamiento, lejos de considerarse un error, se entiende como una característica funcional que le da flexibilidad al sistema para la adaptación (Davids, Glazier, Araújo & Bartlett, 2003). La práctica variable, como metodología de aprendizaje que explota esa propiedad de los sistemas, se originó en la idea de un programa motor generalizado, y especialmente en la Teoría del Esquema Motor (Schmidt, 1975). En la actualidad, ha sido extrapolada a los fundamentos de los sistemas dinámicos que considera al ser humano como un sistema complejo que interactúa con su entorno y utiliza las fluctuaciones y la capacidad de auto-organización como ventajas para el aprendizaje motor. Durante las últimas décadas, muchas son las investigaciones que han explorado la utilidad de la práctica variable, pero a pesar de ello sigue existiendo una importante controversia y diversos resultados cuando se ha aplicado con aprendices de distintas edades o en diferentes niveles de rendimiento (García-Herrero, Sabido, Barbado, Martínez & Moreno, 2016). Algunos autores han referido la necesidad de tener en cuenta, además de las características intrínsecas de los participantes, las características de la tarea para interpretar adecuadamente el fenómeno de la variabilidad. Otros autores han propuesto la modulación de la magnitud de la variabilidad en la práctica como otro elemento que puede incidir en la optimización del proceso de aprendizaje (Moreno y Ordoño, 2014). En ese sentido Caballero y col.

(2012) observaron que los niveles más altos de variabilidad (lanzamiento balonmano) produjeron resultados pobres en comparación con bajos valores de variabilidad, en cambio niveles intermedios de variabilidad arrojaron mejores resultados que los aplicados como altos o bajos en el estudio de Moreno y col. (2011).

En este ambiente de discusión acerca del controvertido efecto de la variabilidad al practicar, en los últimos años ha surgido el entrenamiento diferencial, como propuesta que desarrolla la práctica variable sustentada dentro de la teoría de los sistemas dinámicos. En el entrenamiento diferencial se configuran las acciones motrices en tareas poco habituales, fuera del objetivo de una “técnica ideal”, con el fin de facilitar al aprendiz a adaptarse y a responder a un accionar que permita procesos exploratorios diferentes para el aprendizaje (Schöllhorn, 2000), lo que podría encuadrarse como una carga de variabilidad extrema (Moreno y Ordoño, 2014). Los estudios realizados en torno al entrenamiento diferencial apoyan la idea de que esta metodología favorece el aprendizaje, más allá de la simple práctica de variaciones de la misma habilidad (Edwards & Hodges, 2012).

La evidencia científica en relación a los resultados del entrenamiento diferencial es aún limitada pero ya son varios los estudios, la mayor parte de ellos llevados a cabo en el grupo de investigadores del Dr. Schöllhorn, que han obtenido conclusiones favorables. Los beneficios de aplicar el entrenamiento diferencial se ha observado en diferentes disciplinas deportivas como el lanzamiento de peso, salida de carrera en patines, baloncesto y voleibol, entre otros (Beckmann & Schöllhorn, 2003; Savelsbergh et al., 2010; Schönherr & Schöllhorn, 2003; Schöllhorn, Paschke & Beckmann, 2005). No obstante, también existen algunos estudios que indican no haber hallado evidencia de las ventajas del entrenamiento diferencial para la adquisición de habilidades y que recomiendan emplear con cierta precaución esta metodología (Edwards & Hodges, 2012; Hossner, Käch, & Enz, 2016; Künzell & Hossner, 2012 ).

En relación a la cinemática del movimiento son muy reducidas las investigaciones que se hayan enfocado a su estudio desde la aplicación del entrenamiento

diferencial. Wagner & Müller (2008) analizaron la cinemática de un sólo deportista de élite en balonmano en el lanzamiento de 7 metros a través de la observación de las velocidades angulares y Jaitner, Kretzschmar & Hellstern (2003) realizaron un estudio de clusters en el pasaje de vallas. Hasta el momento no se han explorado aún los efectos que produce el aprender una habilidad deportiva bajo la metodología del entrenamiento diferencial sobre la cinemática del movimiento.

Bajo los postulados de los sistemas dinámicos y en concordancia a la organización de la práctica variable del entrenamiento diferencial, se configura el presente estudio con la intención de aportar conocimiento sobre el efecto que este tipo de aprendizaje tiene en el rendimiento y la cinemática del saque de voleibol en apoyo. En cuanto al rendimiento se analiza: la *precisión* a través de la dirección de la pelota tras el saque, y la *velocidad* de la pelota en el momento del golpe. La cinemática del movimiento se ahonda en relación a la velocidad de los segmentos y al análisis de los patrones de coordinación surgidos como efecto del entrenamiento, para el aprendizaje de esta técnica cerrada del voleibol. En este sentido, los patrones de coordinación se estudian en base a las investigaciones que sobre el saque realizaron Temprado y col. (1997) y Davids y col. (1999). Temprado y col. enfocados a encontrar un patrón que diferencie entre expertos y nóveles, y Davids y col. analizando el patrón de coordinación del golpe de la pelota a partir del autolanzamiento.

Esta tesis doctoral se ha llevado a cabo dentro de los lineamientos del grupo de investigación del Laboratorio de Aprendizaje y Control Motor (APCOM) del Centro de Investigación del Deporte de la Universidad Miguel Hernández.

En la actualidad, el laboratorio APCOM está trabajando en diseños experimentales para valorar la variabilidad motora y su relación con la capacidad de adaptación y aprendizaje, en el marco de un proyecto de investigación financiado por Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, siendo uno de los principales objetivos: evaluar si la estructura de la variabilidad motora puede predecir la capacidad de adaptación y la evolución del rendimiento.





## Objetivos e hipótesis



## II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Formulado en el capítulo anterior el problema de esta investigación, se presentan seguidamente los objetivos que se pretenden alcanzar y se formulan las hipótesis a contrastar en relación al aprendizaje del saque de voleibol en nóveles con las metodologías propuestas.

### II.1 OBJETIVOS

Esta tesis doctoral aborda, desde las líneas que fundamentan el entrenamiento diferencial, el efecto de este tipo de práctica, en relación al aprendizaje tradicional de repetición del movimiento, en la técnica y en la eficacia del saque de arriba en apoyo del voleibol.

Los objetivos propuestos son:

- *Comparar los efectos del entrenamiento diferencial con el entrenamiento en consistencia en relación a la mejora de la precisión y la velocidad en el saque de arriba en apoyo, para principiantes del deporte voleibol.*
- *Realizar un análisis de los datos cinemáticos registrados, en cuanto a velocidades y tiempos empleados por los distintos segmentos corporales para ejecutar el movimiento, a fin de comparar entre las distintas metodologías de aprendizaje aplicadas.*
- *Emplear análisis de patrones de coordinación para identificar los cambios que se produzcan en la ejecución del saque como resultado del proceso de entrenamiento llevado a cabo por cada grupo tratado.*
- *Establecer relaciones entre los parámetros obtenidos de rendimiento y cinemática del movimiento que permitan conocer las modificaciones emergidas después del período de práctica para el aprendizaje del tipo de saque de voleibol utilizado.*

## II.2 HIPÓTESIS

Las hipótesis que se plantean como ejes en la presente tesis doctoral son:

1

**H1.1** *El entrenamiento diferencial y el entrenamiento en consistencia aumentarán el rendimiento de precisión y velocidad en el aprendizaje del saque de arriba en apoyo del voleibol en principiantes.*

**H1.2** *El entrenamiento diferencial mostrará mayor retención que el entrenamiento en consistencia, en las mejoras del rendimiento logrado.*

2

**H2** *El entrenamiento diferencial y el entrenamiento en consistencia reducirán la dispersión de los resultados mejorando la consistencia del error.*

3

**H3** *La velocidad máxima de la mano y el brazo aumentará en mayor medida en el grupo de entrenamiento diferencial.*

4

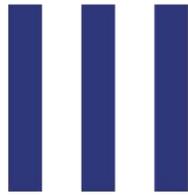
**H4.1** *La variabilidad del movimiento de la mano ejecutora se verá reducida en los sujetos del grupo de entrenamiento en consistencia.*

**H4.2** *La variabilidad del movimiento de la mano ejecutora se verá incrementada en los sujetos del grupo de entrenamiento diferencial.*

5

**H5.1** *Los sujetos de los grupos de entrenamiento modificarán el tipo de coordinación a un patrón diferente después de la práctica.*

**H5.2** *Los sujetos del grupo de entrenamiento diferencial mostrarán, un patrón de coordinación con mayor disociación en los segmentos implicados en el saque.*



# Método



### III MÉTODO

En la descripción del método de investigación llevado a cabo en este estudio del saque del voleibol, se detallarán los siguientes apartados:

- III.1 Muestra del estudio
- III.2 Instrumental
- III.3 Variables
- III.4 Diseño de investigación
- III.5 Procedimiento
- III.6 Organización, cálculo y análisis estadístico

#### III.1 MUESTRA DEL ESTUDIO

En el estudio participaron inicialmente de forma voluntaria, 33 estudiantes de la Licenciatura en CC. de la Actividad Física y del Deporte (12 mujeres y 21 hombres). Todos eran diestros, no habían entrenado, ni competido previamente en el deporte del voleibol. Antes de iniciar el estudio, los sujetos fueron informados del procedimiento y los tiempos que se emplearían en la investigación, dando su consentimiento (anexo B) expreso de participación.

Tras la aplicación del test inicial (TI), los participantes fueron distribuidos en tres grupos balanceados en base a las variables de género, peso, altura y rendimiento (velocidad y precisión de los servicios) de esta primera prueba. Estos tres grupos conformaron los diferentes niveles de aplicación de la variable independiente.

Del total de participantes que iniciaron el estudio (10 en el grupo ED, 11 en EC y 12 en GC), 4 sujetos del GC no se presentaron al test final. Teniendo esto en cuenta, y tras el análisis de outliers, la muestra se vio reducida reflejándose en los descriptivos que se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Descriptivos de la muestra por grupo

	ED	EC	GC
N	8	9	7
Edad	20.38 ± .52	22.00 ± 1.87	20.86 ± 1.87
Altura (cm)	173.38 ± 8.53	174.00 ± 7.57	175.86 ± 4.67
Peso (kg)	67.13 ± 9.85	69.67 ± 9.85	71.43 ± 7.61

### III.2 INSTRUMENTAL

El instrumental utilizado para la recolección de los datos se distribuyó entorno a la pista de voleibol de medidas reglamentarias que se marcó dentro de la Sala de Registro en el Centro de Investigación del Deporte (Figura 3.1).

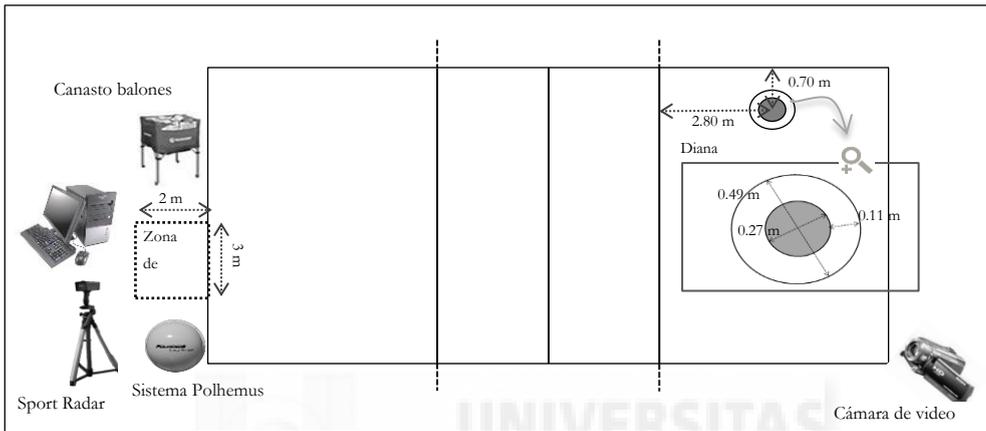


Figura 3.1. Área de registro. Distribución del instrumental de medición

El instrumental empleado en los distintos test fue el siguiente:

- Radar de velocidad Sport Radar Gun SR3600 (Sport Radar Ltd. Homosassa, FL. Figura 3.2). Este dispositivo se utilizó para medir la velocidad de la pelota en los saques con una precisión  $\pm 1$  m/s. Se ubicó sobre un trípode a 1,50 de altura y detrás de la zona de saque sobre el lado derecho y orientado hacia la diana. La velocidad alcanzada en cada ensayo fue registrada en una planilla de cálculo diseñada para tal efecto.

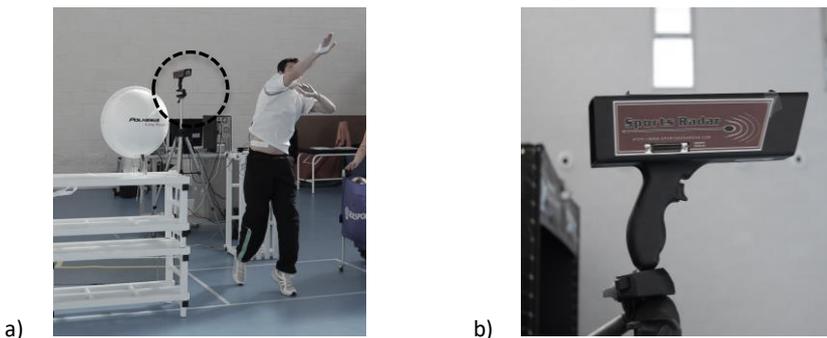


Figura 3.2. a) Ubicación del radar SR3600 b) Radar Sport (SR3600)

- Cámara de video digital Sony HDR SR7 Handycam AVCHD 6.1 Mp (Sony Corporation Tokio, JP. Figura 3.3b). Este dispositivo se utilizó para grabar el punto de caída del balón, en relación con la diana. La cámara se ubicó a 11 metros sobre la pista (Figura 3.3a) de manera que filmara una perspectiva cenital de la diana. Las grabaciones fueron digitalizadas mediante el software Kinovea 0.8.15. Posteriormente, se corrigió la distorsión de captura de las imágenes, debido a la perspectiva de ubicación de la cámara, y se calcularon las coordenadas reales de cada lugar de caída del balón mediante un algoritmo elaborado en Matlab (Mathworks, Natick, MA) a partir de un sistema de referencia marcado sobre la pista.



Figura 3.3. a) Ubicación cámara de video Sony b) Cámara Sony Handycam AVGHGD 6.1

- Sensor electromagnético de posición Polhemus Liberty (Polhemus. Vermont, US. Figura 3.4a). Sistema registro de la posición espacial que dispone de 6 grados de libertad, con una precisión de 0.08 cm. para la posición en los tres ejes espaciales y 0.15° para la orientación angular y, una frecuencia de registro de 240 Hz para cada sensor.

El equipo Polhemus es un dispositivo electromagnético de seguimiento de posición que da información de los ejes  $x$  (lateral),  $y$  (anteroposterior) y  $z$  (vertical) y de los desplazamientos angulares azimut, elevación y rotación. Está compuesto por una unidad de sistema electrónica SEU con puertos para transferir los datos a un ordenador que los interpreta a través del Software Developers Kit (SDK, Figura 3.4b), para conectar los sensores y para enlazar el receptor Longe Range, el cual

proporciona una mayor sensibilidad y distancia de recepción de la onda electromagnética.

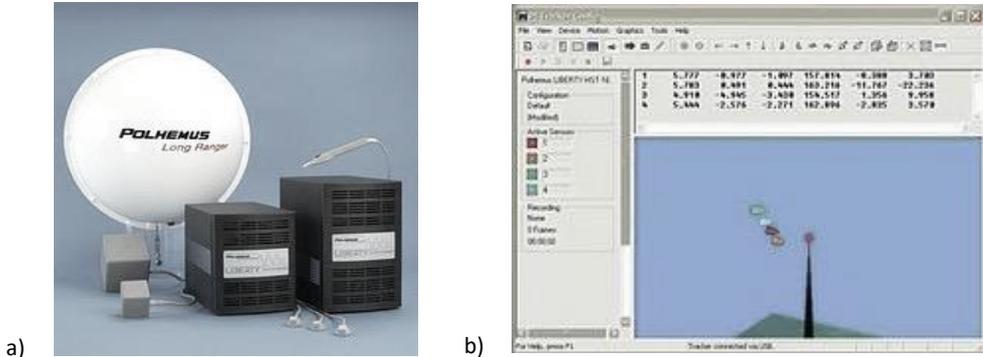


Figura 3.4. a) Polhemus Liberty b) Interfaz gráfica del Polhemus

Para este estudio se utilizaron cuatro sensores que fueron colocados empleando cinta adhesiva en las siguientes localizaciones (Figura 3.5):

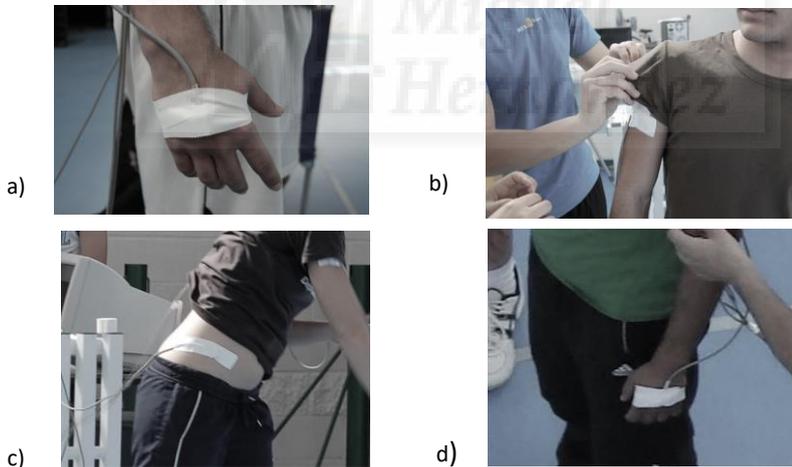


Figura 3.5. a) Colocación sensor 1 mano derecha b) Colocación sensor 2 brazo derecho  
c) Colocación sensor 3 cadera d) Colocación sensor 4 mano auxiliar

**Sensor 1**, dorso de la mano derecha en la parte medial del metacarpo, cable orientación proximal hacia la muñeca (Figura 3.5a).

**Sensor 2**, cara externa del brazo sobre la porción medial del húmero derecho (tuberosidad deltoidea. Figura 3.5b)

*Sensor 3*, en la cresta ilíaca anterosuperior derecha (Figura 3.5c).

*Sensor 4*, dorso de la mano auxiliar en la parte medial del metacarpo, cable orientación proximal hacia la muñeca (Figura 3.5d).

Además de los dispositivos de registro mencionados anteriormente, se emplearon los siguientes instrumentos durante las sesiones de aprendizaje del estudio.

- Ordenador con el software Powerpoint® instalado para mostrar la secuencia de los ejercicios en las sesiones de entrenamiento y para mantener los mismos tiempos de descanso, entre ensayo y series, en los dos grupos experimentales (Figura 3.6).



Figura 3.6. a) Ubicación ordenador guía de ejercicios b) Ejemplo de pantalla que visualizaba el sujeto de ED durante el entrenamiento.

- Balones Mikasa MG V-230 (230 g), homologados por la Federación Internacional de Voleibol (FIVB). Se usaron las mismas pelotas tanto en los test como en las sesiones de entrenamiento.

- Postes y bandas para delimitar la zona de pase del balón al otro campo. Con el objeto de evitar problemas posteriores de análisis (saques frenados por la red) se sustituyó la red de voleibol por una banda a la altura (2,24 m) reglamentaria femenina (en adelante esta banda se seguirá denominado como 'red') y, para obligar que el saque realizara una trayectoria tensa, se colocó otra banda a 1 m por encima de la altura reglamentaria de la red (Figura 3.11).

### III.3 VARIABLES

#### III.3.1 Variables dependientes

Entendiendo las variables dependientes como la característica o propiedad que se desea evaluar mediante la manipulación de las variables independientes, se definieron para este estudio dos tipos de variables dependientes:

- Variables de rendimiento
- Variables cinemáticas del movimiento

Las **variables de rendimiento** son:

- *Acierto trayectoria (n)*. Variable cuantitativa discreta que indica la cantidad de saques ejecutados que pasaron al otro campo entre la altura del borde superior de la red y la banda ubicada a un metro de esta.
- *Precisión espacial (m)*. Calculada a través de las variables (seguidamente detalladas) que fueron cuantificadas empleando la medida de la distancia hasta la diana del cada punto de caída de la pelota para cada uno de los saques. En el anexo C se describe la metodología de cálculo.
  - *Error absoluto* de cada eje (x, y). Medida del error global obtenido para cada eje. Es el promedio de los 32 ensayos de la sumatoria de la diferencia en valor absoluto entre el punto caída de la pelota y el centro de la diana.
  - *Error variable* de cada eje (x, y). Medida de variabilidad de los saques en cada eje. Es la raíz cuadrada del promedio de la diferencia entre el valor absoluto de la medida y la media elevada al cuadrado.
  - *Error radial medio*. Distancia entre la diana y el bote de la pelota calculado mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de error en cada eje en cada ensayo. Medida global del éxito en la precisión del saque.
  - *Variabilidad del error radial*. Medida global de variabilidad en la precisión del saque.
- *Velocidad de la pelota (m/s)*. Velocidad de partida de la pelota registrada con el radar en el momento del golpe del saque.

Las **variables cinemáticas** analizadas fueron las siguientes:

- *Duración del movimiento (s)*. Esta variable cuantifica el tiempo transcurrido entre el lanzamiento de la pelota desde la mano auxiliar (estimado como el pico de velocidad en el eje z del sensor 4 colocado sobre la mano auxiliar) hasta el instante de golpeo con la mano ejecutora (pico de velocidad en el eje z para el sensor 1).
- *Velocidad media del movimiento (m/s) en cada eje*. Promedio de la velocidad del movimiento de cada sensor durante el saque en los tres ejes espaciales (x, y, z) (apartado III.6.2).
- *Velocidad máxima del movimiento (m/s) en cada eje*. Velocidad máxima del movimiento de cada sensor durante el saque en los tres ejes espaciales (x, y, z) (apartado III.6.2).
- *Velocidad media del módulo de la velocidad del movimiento de cada sensor durante el saque (m/s)*.
- *Velocidad máxima del módulo de la velocidad del movimiento de cada sensor durante el saque (m/s)*.
- *Diferencia temporal en los picos de velocidad máxima* entre los sensores colocados sobre los distintos segmentos corporales.
- *Variabilidad cinemática global de la mano ejecutora*. Cálculo del coeficiente de variación promedio de las series temporales de la velocidad de la mano en cada saque (se expresa en porcentaje).

Para calcular las variables de coordinación del movimiento que a continuación se detallan, se siguió el procedimiento descrito por Temprado et al. (1997), utilizando la correlación cruzada como herramienta de cuantificación.

- *Tipo de coordinación fase/antifase del patrón de movimiento*, en relación con los tres segmentos del miembro ejecutor (mano, brazo, cadera).
- *Porcentaje en fase*, frecuencias de correlaciones positivas.
- *Intensidad de la relación*, promedio del coeficiente  $C_c$ , para observar el grado de relación entre los segmentos.

### III.3.2 Variable independiente

Las variables antes definidas han sido medidas para determinar el efecto de la variable independiente: *método de entrenamiento*, diferenciando entre test inicial, test final y retest.

La variable independiente se manipuló en tres niveles:

- Entrenamiento en consistencia (que se identificará como grupo EC).
- Entrenamiento diferencial (identificado como grupo ED).
- No entrenamiento (identificado como grupo control o GC).

### III.3.3 Variables contaminadoras

Se controlaron las siguientes variables con el fin de mantener el máximo rigor experimental.

- a) Altura, peso y sexo de los participantes. Variables controladas distribuyendo los participantes de manera homogénea entre los grupos para evitar diferencias iniciales de potencia y alcance en el golpeo de la pelota, entre otras.
- b) Pericia de la muestra. Un requisito de participación del estudio establecido para la selección de la muestra fue que los sujetos no hubiesen practicado el voleibol de manera competitiva con anterioridad a este estudio.
- c) Compromiso con la investigación. Se estipuló y se informó a los participantes la necesidad de cumplimentar un mínimo del 90% de asistencia a las convocatorias de test y entrenamientos. Para ello se recabó a través de un cuestionario las disponibilidades de días y horarios en las reuniones previas (anexo A).
- d) Prácticas del saque de voleibol durante el proceso de investigación. Se acordó con el profesor de la asignatura voleibol para que no se presentara el tema del saque durante el tiempo que duró este estudio.
- e) Condiciones ambientales. Esta variable fue controlada teniendo lugar la toma de datos y los entrenamientos en la sala de registro del Centro de Investigación del Deporte de la UMH, espacio acondicionado específicamente para realizar procesos investigativos de esta índole.

### III.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para este estudio, se analizó el efecto de la variable independiente (método de entrenamiento) sobre las variables dependientes (apartado III.3.1) bajo el diseño de una investigación *cuasi-experimental mixto con medidas independientes*, para evaluar el efecto del tipo de entrenamiento y *medidas repetidas* para evaluar el efecto de la práctica (Campbell & Stanley, 2015), teniéndose en consideración:

- La asignación aleatoria de los sujetos en la conformación de los grupos a partir del balanceo resultante de las medidas del test inicial como control de la equivalencia de los mismos.
- La determinación de un grupo de control y dos grupos experimentales.
- La realización de tres medidas (test inicial, final y retest) a todos los grupos (control y de tratamiento).
- El control de las variables de contaminación.

Para evaluar las hipótesis a un nivel de probabilidad de  $p < .05$  se calcularon los siguientes estadísticos:

- Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov
- Medidas de tendencia central: media y desviación estándar
- ANOVA: Análisis de la varianza mixto con una prueba Pos-hoc de Bonferroni
- Tamaño del efecto (ES)
- Correlación bivariada para el coeficiente de correlación de Pearson

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software IBM SPSS Statistics 19 (IBM, Armonk, NY).

### III.5 PROCEDIMIENTO

En el desarrollo de este estudio pueden diferenciarse claramente las siguientes etapas de implementación:

1) Presentación del diseño a los participantes en el estudio.

- *Reunión informativa con los potenciales participantes.* Tres días antes del test inicial se mantuvo una charla con los participantes y se les proporcionó información audiovisual sobre la ejecución de la técnica del saque, según el Coach Manual I de la FIVB (Federación Internacional de Voleibol, 2011). En esta misma reunión se distribuyó un cuestionario (anexo A) a los voluntarios con el que se recababa información de datos personales, de contacto y disponibilidad horaria. También se presentó el cronograma establecido para el proceso de toma de datos.

- *Cronograma.* El estudio constó de un *test inicial* (TI), 11 sesiones de entrenamiento (dividas en tres semanas), un *test final* (TF) al día siguiente de la fase de aprendizaje, y un test de retención o *retest* (RT) tres días después del tratamiento (Figura 3.7).



Figura 3.7. Cronograma del estudio

2) Protocolo de preparación para los test.

En la implementación de cada test se siguió el siguiente protocolo (Anexo D):

a) *Preparación y ubicación del instrumental* y material estipulado, en la sala de registro del Centro de Investigaciones del Deporte (CID) de la Universidad Miguel Hernández.

b) *Recepción del participante.* Junto con la explicación verbal y escrita del procedimiento a desarrollarse durante el test, se entregó al participante un formulario de consentimiento (Anexo B) para que lo firmase (si estaba de acuerdo) y

una hoja informativa (Anexo E).

c) *Rutina de calentamiento*. Guiado por el equipo de investigación, el participante debía cumplimentar los siguientes ejercicios (Figura 3.8).

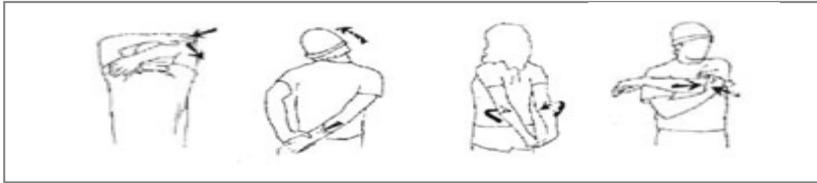


Figura 3.8. Rutina de estiramientos de hombros y brazos

- ✓ Estiramientos de hombros y brazos
- ✓ Rotaciones de hombro hacia adelante (20 repeticiones)
- ✓ Rotaciones de hombro hacia atrás (20 repeticiones)
- ✓ Lanzamientos con 2 manos de la pelota contra la pared a una distancia de 4 metros aprox. (2 series de 10 repeticiones)

d) *Colocación de sensores*. Finalizada la rutina de calentamiento se posicionaba al participante en la zona de saque y se le colocaban los sensores, según se ha explicado en el punto III.2 (Figura 3.5).

e) *Posicionamiento del equipo de investigación*. Los integrantes del equipo a cargo de las mediciones, miembros del laboratorio APCOM, estaba compuesto por 4 personas con las siguientes tareas asignadas:



Figura 3.9. Personal investigador 1

Investigador 1- *Explicar la tarea y asistir al ejecutante*.

Ubicado al lado izquierdo del sacador fue el responsable de recordarle la tarea al participante y de velar por la disponibilidad del balón para los saques a fin de cumplir con los tiempos de entre saques y entre series (Figura 3.9).

Investigador 2- *Registrar los valores de velocidad de la pelota en los saques.*

Personal investigador colocado detrás del radar, responsable de anotar la velocidad marcada por el radar y el acierto en los casos cuando el saque pasaba entre las dos bandas. El registro se realizó en una planilla de cálculo creada para tal fin.

Investigador 3- *Señalizar el trayecto de la pelota.*

Posicionado al lado del poste más alejado de la diana con la función de indicar si el saque pasaba entre bandas (brazo izquierdo extendido) o no pasaba entre las bandas (brazo izquierdo flexionado), como se puede observar en la Figura 3.10.



Figura 3.10. Investigador 3

Investigador 4- *Retirar y recoger las pelotas.*

Ubicado detrás de la línea final del campo objetivo con la tarea de despejar la zona retirando y recogiendo los balones.

### 3) Test.

Como se mencionó anteriormente, el registro de datos se realizó a través de 3 test como: *test inicial*, *test final* y *test de retención*. Cada test consistió en cuatro series de 8 saques en dirección a una diana colocada en el suelo del otro campo (zona 1, próxima a la línea lateral). La trayectoria del balón debía superar la altura de la red pero no alejarse excesivamente de esta, por lo que se colocó una banda un metro por encima y se les indicó a los participantes que trataran de pasar la pelota entre las bandas (Figura 3.11). Se marcaron pausas de cinco segundos entre saques y de 60

segundos entre series. Antes de iniciar cada test el participante realizaba 2 saques de prueba.



Figura 3.11. Sujeto ejecutando un test

#### 4) Sesiones de intervención (entrenamientos).

Se distribuyeron 11 sesiones de entrenamiento en 3 semanas, cuatro en las dos primeras (lunes a jueves) y tres sesiones en la tercera semana (lunes a miércoles). En virtud a la disponibilidad horaria de los participantes, la franja para entrenar se extendía cada 20 minutos desde las 9:00 hs hasta las 20:00 hs. Se intentó, en la mayoría de los casos, alternar los entrenamientos de manera que no coincidieran seguidamente dos sujetos del mismo grupo.

Las sesiones de intervención se realizaron en el mismo espacio físico donde se efectuaban los test. El sujeto, al presentarse en el horario preestablecido, era recibido por un integrante del equipo de investigación quien le indicaba que iniciara la rutina de calentamiento (la misma que se hacía previo a los test, Figura 3.8). Posteriormente el participante se ubicaba en la zona de saque para, con la asistencia de una aplicación informática, realizar 3 series de 15 ejercicios de saques, con los mismos intervalos de pausa entre las series que los test, y dirigiendo el balón al campo contrario por el espacio marcado con las bandas y hacia la diana. La aplicación informática marcaba el orden y los tiempos de los saques y, específicamente para el

grupo de entrenamiento diferencial, mostraba además el ejercicio a realizar (anexo F). A ninguno de los grupos se le brindó instrucciones correctivas (Schöllhorn, 2010). El grupo de control no realizó entrenamiento alguno.

*Entrenamiento grupo en consistencia:* Los participantes que integraron este grupo repitieron el gesto técnico del saque en dirección a la diana.

*Entrenamiento grupo diferencial:* La secuencia de ejercicios que realizó este grupo se distribuyó de forma que nunca se repetían dos golpes iguales seguidos. En el anexo F se presentan las tablas de dichos ejercicios.

### **III.6 ORGANIZACIÓN, CÁLCULO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

En los siguientes apartados se detallan los procesos de organización de los datos recogidos en las distintas pruebas y se explican las técnicas estadísticas utilizadas para calcular las diferentes variables definidas. El orden de presentación se respetará para la exposición de los resultados en el capítulo IV.

#### **III.6.1 Organización y cálculo de variables de rendimiento**

- a) Acierto en la trayectoria de la pelota
- b) Precisión espacial
- c) Velocidad de la pelota

#### **III.6.2 Organización y cálculo lineal de variables cinemáticas**

- a) Duración del movimiento
- b) Velocidad del movimiento
- c) Variabilidad de la velocidad del movimiento de la mano ejecutora

#### **III.6.3 Organización y cálculo de patrones de coordinación**

- a) Tipos de patrones de coordinación
- b) Porcentaje en fase
- c) Intensidad de la relación

#### **III.6.4 Análisis Estadístico**

### III.6.1 Organización y cálculo de variables de rendimiento

#### a) *Acierto en la trayectoria de la pelota*

En todas las pruebas (test inicial, test final y retest) se realizó el registro de aquellos ensayos en donde la trayectoria del balón pasó correctamente entre las bandas, por sujeto. Estos datos se volcaron en la *Base de Datos general de variables de Rendimiento* (BDRend).

#### b) *Precisión espacial*

La precisión se valoró a través del cálculo de diferentes medidas del error (error absoluto, error variable, error radial medio y variabilidad del error radial) para obtener el conocimiento sobre la magnitud del error y la variabilidad del resultado del saque (Schmidt & Lee, 2011).

Utilizando el software Kinovea 0.8.15 (disponible en [www.kinovea.org](http://www.kinovea.org)) se digitalizó uno a uno los saques efectuados por cada sujeto, en los 3 test aplicados, desde las imágenes de los videos obtenidos con la cámara Sony (Figura 3.3b). El proceso de digitalización consistió en visualizar y puntear a un clic el lugar de primer contacto de la pelota en el suelo a través de la interfaz que dispone Kinovea (Figura 3.12). Al finalizar los ensayos de cada sujeto, la información procesada se guardó en formato .xml (eXtensible Markup Language).

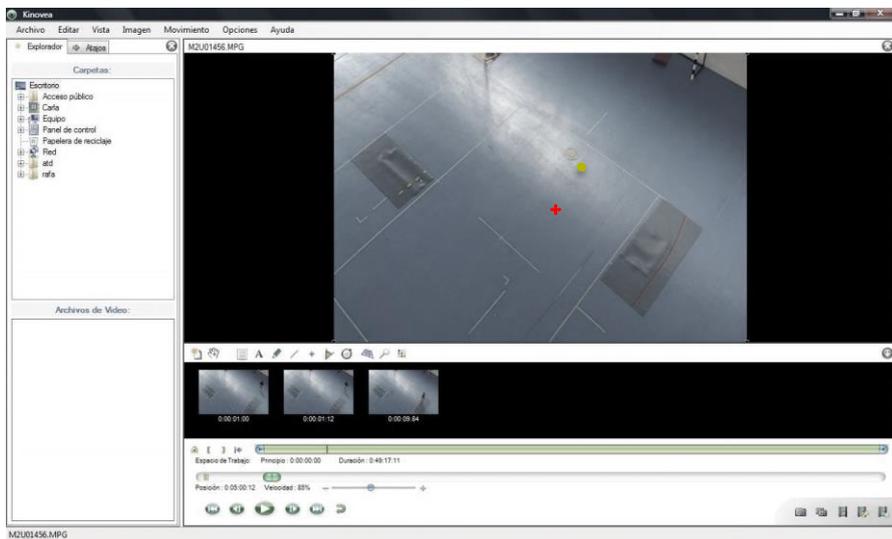


Figura 3.12. Pantalla de Kinovea para digitalización del lugar de caída de la pelota

Posteriormente este archivo .xml (tres por sujeto, correspondiendo uno por cada test) se trabajó con Excel para extraer las coordenadas  $x$  e  $y$ , y para calcular la distancia lateral ( $x$ ) y antero-posterior ( $y$ ) de impacto del balón en la pista en relación a la diana. Tras obtener las coordenadas reales, se calcularon, a través de las fórmulas que se explican en el Anexo C, los *errores absolutos y variables* de cada eje y también sus *módulos (error radial medio y variabilidad del error radial)*.

### c) *Velocidad de la pelota*

La velocidad inicial de pelota en el momento del golpe del saque se midió en m/s usando el radar descrito en el apartado III.2. Los valores alcanzados se volcaron en una planilla de cálculo y se promediaron por sujeto para obtener la *velocidad media del saque* y se calculó la *variabilidad* con la medida de la desviación estándar. Asimismo, aquellos valores que cumplían la condición de haber cruzado por entre las bandas se los procesó para obtener también la media y desviación estándar, *velocidad media con aciertos y variabilidad de la velocidad con aciertos*, respectivamente. Todas estas variables se incorporaron a la BDRend.

### III.6.2 Organización y cálculo lineal de variables cinemáticas

Las variables cinemáticas se obtuvieron a partir del dispositivo electromagnético de seguimiento de la posición “Polhemus Liberty” (ver apartado III.2). De este instrumento de medición resulta un archivo “.txt” que da información de la posición espacial en los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y de las variaciones angulares: azimut, elevación y rotación, con una frecuencia de registro de 240 hz. A los efectos del presente estudio se tuvo en cuenta únicamente la información de los ejes. En la Figura 3.13 se puede ver un ejemplo de un archivo acotado de un sujeto con sus 32 ensayos y en el Anexo H se presenta una imagen donde se muestra la señal del sensor de la mano derecha (sensor 1) y su relación con el movimiento ejecutado por un participante.

Sensor	Ejes			Desplazamientos angulares		
	$x$	$y$	$z$	Azimut	Elevación	Rotación
1	58.077	-6.677	9.788	65.496	-11.971	24.669
2	50.977	-19.422	5.811	101.595	-51.17	-169.302
3	50.558	-23.216	17.56	83.622	-5.627	-130.484
4	60.326	-9.059	22.925	86.948	-15.462	-176.526
1	58.108	-6.663	9.789	65.544	-11.945	24.528
2	50.983	-19.414	5.799	101.507	-51.176	-169.315
3	50.557	-23.221	17.549	83.598	-5.634	-130.473
4	60.325	-9.056	22.965	87.01	-15.56	-176.722
1	58.134	-6.676	9.818	65.556	-11.965	24.336
2	51	-19.406	5.799	101.419	-51.139	-169.353
3	50.552	-23.226	17.548	83.562	-5.628	-130.483
4	60.328	-9.067	22.984	87.015	-15.642	-176.878
1	58.162	-6.693	9.832	65.55	-11.967	24.184
2	51	-19.417	5.785	101.205	-51.17	-169.305

Figura 3.13. Archivo .txt (acotado) producido por el Polhemus sobre los ensayos de un sujeto.

Para el tratamiento de los datos de este archivo se utilizó una aplicación (*DatosMultiples.vi*) desarrollada en Labview 8.5 (National Instruments Corporation, Texas, US). Labview es un sistema de programación gráfica que permite la adquisición, control, análisis y presentación de datos.

Con la aplicación *DatosMultiples.vi* se marcaron los cortes que correspondían al inicio y final del gesto del saque para cada ensayo. El criterio que se determinó para realizar los cortes fue: la máxima altura de la mano auxiliar (sensor 4 en el eje  $z$ , señal roja), como punto inicial del movimiento, y la máxima altura de la mano ejecutora (sensor 1 en el eje  $z$ , señal blanca), como punto final del movimiento del saque (Figura 3.14).

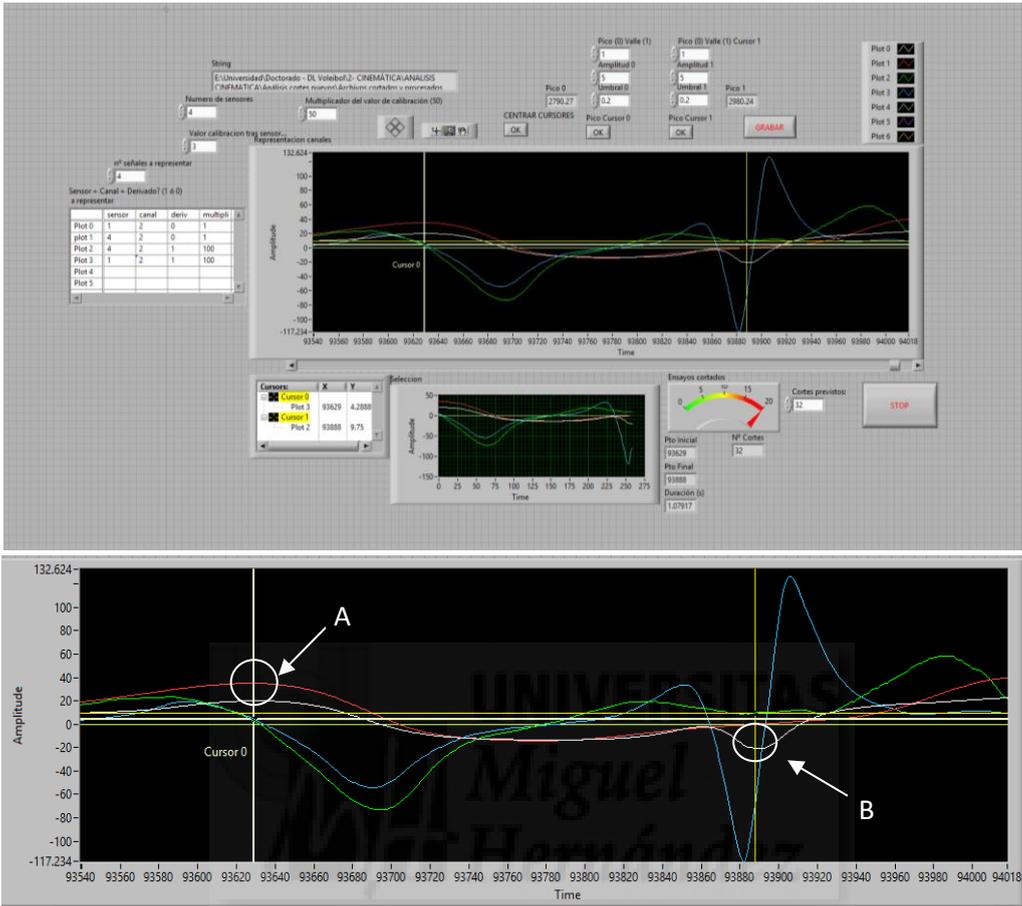


Figura 3.14. Interfaz del corte con imagen ampliada de los puntos de corte de la señal. A: Inicio del movimiento. B: Fin del movimiento

Este procedimiento de corte de las señales realizado sobre el archivo de cada sujeto generó a su vez tres tipos de archivos por cada test, a saber:

**\_duración.txt**: Es un único archivo de texto que contiene una columna con la duración de cada uno de los ensayos (cortados) en segundos.

**\_velocidad.txt**: Es un archivo por ensayo que contiene columnas con los datos de velocidad de los cuatro sensores ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

**\_posición.txt**: Es un archivo por ensayo que contiene columnas con los datos de posición de los cuatro sensores ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

A partir de estos archivos se efectuaron diferentes procedimientos de cálculo (ver esquema en Anexo I) para la obtención de las variables cinemáticas analizadas en esta investigación:

*a) Duración del movimiento*

El tiempo (en segundos) que duró cada movimiento del saque ejecutado (cortado) por los participantes, se extrajo del archivo *\_duración.txt*. Con este dato se calcularon los estadísticos descriptivos de media y desviación estándar por cada sujeto y test empleando una planilla de cálculo diseñada a esos efectos.

*b) Velocidad del movimiento*

Para obtener el cálculo estadístico de las variables cinemáticas de velocidad a través del archivo *\_velocidad.txt*, se desarrolló la aplicación *VblCinematik.vi* utilizando el entorno de programación del Labview 8.5 (Figura 3.16). Esta aplicación comienza con un cuadro de diálogo donde se solicita la carpeta del sujeto, contenedora de los 32 archivos *\_velocidad.txt* (Figura 3.15), para a continuación ejecutar dos bucles principales, uno para calcular los estadísticos descriptivos (media y DS) de las variables por ejes en cada sensor, y el otro para obtener los estadísticos descriptivos (media y DS) de los módulos de las variables de velocidad por sensor.

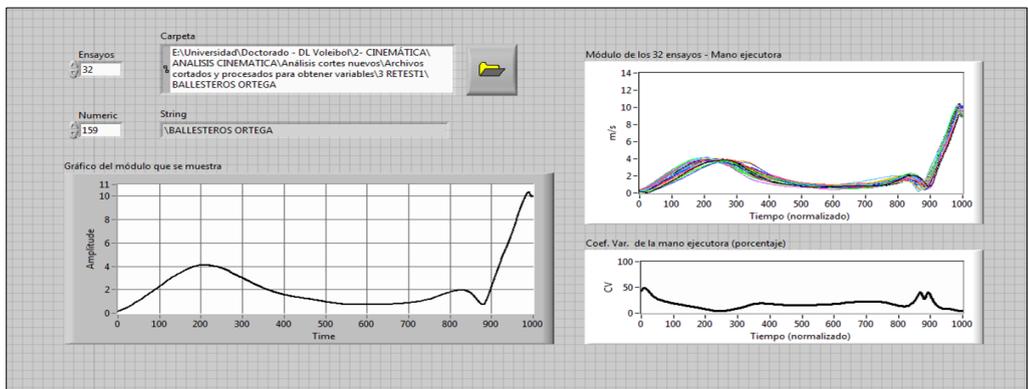


Figura 3.15. Pantalla principal de *VblCinematik.vi*

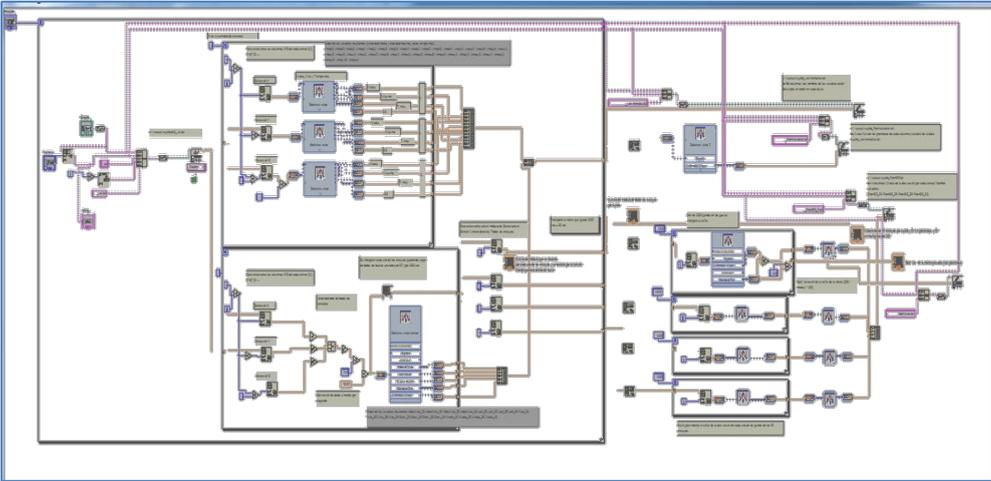


Figura 3.16. Pantalla del código en Labview 8.5 de la aplicación *VblCinematik.vi*

De los procesos matemáticos realizados por la aplicación (*VblCinematik.vi*) quedaron definidos los valores de las siguientes variables cinemáticas que se incorporaron a la base BDCinem:

- b.1) *Velocidad media y máxima del movimiento* (por eje, sensor y test) y sus módulos.
- b.2) *Diferencia temporal en los picos de velocidad máxima* (entre sensores).

La *diferencia temporal entre los picos de velocidad máxima* se calculó restando los valores (obtenidos a través del proceso *VblCinematik*) que indicaban el tiempo para alcanzar la velocidad máxima del módulo entre cada uno de los sensores ubicados en la mano derecha, el brazo y la cadera. Así se obtuvieron las variables para la mano-brazo, el brazo-cadera y la mano-cadera. Los datos resultantes se convirtieron a segundos para su posterior análisis con el software SPSS.

- c) *Variabilidad de la velocidad del movimiento de la mano ejecutora*

El coeficiente de variación (CV) es el estadístico de dispersión que se eligió para expresar la desviación estándar como porcentaje de la media a fin de interpretar el grado de variabilidad del movimiento de mano ejecutora.

En la misma aplicación *VblCinematik.vi* se diseñó un bucle para el cálculo de esta variable a partir de los valores del módulo de la velocidad del sensor de la mano ejecutora. Para ello se extrajeron las series temporales correspondientes a todas las repeticiones de un mismo test y se las normalizó a 1000 puntos temporales. A continuación se calculó el CV (Figura 3.17) en cada punto temporal y seguidamente el promedio por sujeto en cada test.

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

$\sigma$ : Desviación estándar  
 $\bar{x}$ : Media aritmética

Figura 3.17. Fórmula del coeficiente de variación

Los datos resultantes se insertaron en la base de datos BDCinem para su posterior procesamiento con el software SPSS.

### III.6.3 Organización y cálculo de los patrones de coordinación

Una de las herramientas que se ha utilizado en la literatura para cuantificar la coordinación dentro del análisis de los sistemas dinámicos es la correlación cruzada (Amblard et al., 1994; Glazier et al 2003).

Las correlaciones cruzadas (Cc) se basan en la suposición de que existe una relación lineal entre dos conjuntos de datos de series de tiempo cinemáticas (por ejemplo, pares de articulaciones), pero no asumen que estas variables cambian en sincronía durante el movimiento (Mullineaux et al, 2001). Mediante la introducción de retrasos de tiempo entre conjuntos de datos y el cálculo de los coeficientes de correlación correspondientes, se pueden obtener una indicación del tipo de relación entre los segmentos del cuerpo (en fase o en oposición de fase), el grado de vinculación entre los segmentos del cuerpo, y la estabilidad de la coordinación patrones cuando se aplica a ensayos repetidos (Temprado et al., 1997).

Para obtener la relación cruzada de los datos cinemáticos de este estudio, se trabajó con la información de las posiciones de los distintos sensores en el eje *y* (trayectoria

antero-posterior) disponible en el archivo `_posición.txt` y se calculó la siguiente fórmula (Derrick et al, 2004; Figura 3.18) mediante el desarrollo de la aplicación `CrCorr.vi` en Labview, escalando previamente los valores en el rango [-1;1].

$$C_c = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} (y_i - \bar{y})^2}}$$

Figura 3.18. Fórmula de la correlación cruzada (Cross correlation)

Por ejemplo, en el caso de calcular  $C_c$  entre el sensor de la mano y el brazo se realizaría el cociente de la sumatoria del producto entre la diferencia del valor de posición del sensor 1 menos su media y del valor de posición del sensor 2 menos su media, con el producto de la raíces de la sumatoria del cuadrado del valor de posición del sensor 1 menos su media y del valor de posición del sensor 2 menos su media correspondientemente.

La salida de la aplicación `CrCorr.vi` fue una tabla por sujeto para cada test. Esta tabla estaba conformada por 3 columnas y tantas filas como ensayos con el resultado del  $C_c$  de cada relación entre sensores.

Sujeto/Test	Ensayo	CcManoBrazo	CcBrazoCadera	CcManoCadera
-------------	--------	-------------	---------------	--------------

A partir de las tablas obtenidas se creó la base de datos `BDCCorr` con los datos promedios de  $C_c$  por sujeto/test y se calcularon las siguientes variables:

a) *Tipos de patrones de coordinación*

El signo del coeficiente de la  $C_c$  revela el tipo de coordinación entre los segmentos, estando en *fase* cuando es positivo y en *antifase* para los coeficientes negativos (Temprado et al., 1997). Para conocer el tipo de coordinación promedio utilizado por cada participante en las pruebas, se analizaron los signos de los valores  $C_c$  por cada

par de puntos y por cada test y se pudieron identificar los siguientes patrones surgidos entre todos los sujetos (Tabla 3.19):

Mn-Br	Br-Cd	Mn-Cd	Tipo de Patrón	
fase	fase	fase	+++	Patrón 1
fase	fase	antifase	++ -	Patrón 2
fase	antifase	antifase	+ - -	Patrón 3
antifase	fase	antifase	- + -	Patrón 4

Figura 3.19. Tabla patrones: Mn: mano Br: brazo Cd: cadera

Para obtener la distribución de frecuencia de los patrones de coordinación por cada grupo de intervención en cada test, se calculó el porcentaje de los patrones surgidos y se los representó en gráficos de barras (Figuras 4.21, 4.22 y 4.23).

#### b) Porcentaje en fase

Esta variable se calculó promediando los coeficientes positivos de la Cc sobre el total de ensayos por cada test y por cada sujeto. Fue definida para conocer el patrón de coordinación representativo de cada grupo y se la analizó para observar si existían diferencias significativas en la frecuencia de las correlaciones positivas.

#### c) Intensidad de la relación - Promedio del coeficiente

El nivel o grado de relación entre los componentes de cada par segmentos (Mn, Br y Cd) se observó a través del promedio de los valores absolutos del Cc.

La relación identificada a nivel grupo se quiso además, valorar y observar en algunos casos particulares de sujetos que mostraron modificación en su patrón de coordinación. Para hacer esta observación de manera gráfica se empleó la técnica de “diagramas de posición-posición” la cual es capaz de mostrar aspectos de coordinación intersegmental, difícil de ver en otras representaciones.

Originariamente esta gráfica fue introducida por Grieve (1969) para evaluar déficits locomotores. Más tarde Whiting y Zernicke (1982) diseñaron esquemas de patrones de reconocimiento para las trayectorias ángulos-ángulos (Winstein & Garfinkel, 1989). En el anexo J se describe el cálculo y la interpretación de las mismas.

### III.6.4 Análisis estadísticos de las variables de rendimiento y cinemáticas

Los datos volcados en las bases de datos *BDRend*, *BDCinem* y *BDCCorr* se analizaron con el software estadístico SPSS 19. El procedimiento en todos los casos consistió en ejecutar primero una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para conocer la distribución de los datos, que resultaron de carácter normal. Verificada la distribución normal, seguidamente se calcularon los estadísticos de tendencia central (media y desviación estándar), se llevó a cabo un estudio de datos atípicos (outliers) y se analizó el efecto del entrenamiento mediante un ANOVA de dos vías de medidas repetidas, introduciendo como factor inter-sujeto el grupo y solicitando una prueba *post-hoc* de Bonferroni para obtener las diferencias por pares. Los niveles de medidas introducidas fueron las distintas instancias de test (test inicial, test final y retest).

Para todos los análisis se estableció un nivel de  $p < .05$  y se calculó el tamaño del efecto (ES) para determinar la relevancia de la diferencia encontrada.

El tamaño del efecto se interpretó según Rhea (2004) considerando las magnitudes que corresponden al grupo 'No entrenado' de la siguiente tabla.

Magnitud	No entrenado	Entrenamiento de Ocio	Entrenamiento profesional
Trivial	< .50	< .35	< .25
Pequeño	.50 – 1.25	.35 - .80	.25 - .50
Moderado	1.25-1.9	.80 – 1.50	.50 – 1.0
Grande	> 2.0	> 1.50	> 1.0

No entrenado: individuos que no han sido entrenados de forma consistente en el último año.

Entrenamiento de ocio: individuos entrenados consistentemente entre 1-5 años.

Entrenamiento profesional: individuos entrenados durante al menos 5 años.

### Correlación entre variables de rendimiento y cinemáticas

La relación existente entre algunas variables de rendimiento y cinemática se estudió empleando la prueba de correlación de Pearson ( $r$ ) bivariada calculada también con el software SPSS 19. Este análisis nos mostró la intensidad de la asociación entre: el tipo de coordinación, la velocidad y la precisión, su sentido (relación directa o

inversa) y si esa asociación resultó con significación estadística o no (Zuriaga, 2010). Los valores absolutos del coeficiente obtenido se analizaron bajo los siguientes parámetros:

- ⇒ 0 = correlación nula
- ⇒ .40 a .69 = correlación moderada
- ⇒ .70 a .89 = correlación fuerte
- ⇒ .90 a .99 = correlación muy fuerte
- ⇒ 1 = correlación perfecta

Las variables elegidas, que a continuación se mencionan, se correlacionaron en los diferentes test de manera general (todos los grupos) y discriminando por grupo en cada fase de medición.

Variables correlacionadas:

- *Velocidad de la pelota*
- *Error radial medio*
- *Velocidades máximas* en mano, brazo, cadera y mano auxiliar
- *Diferencia temporal en los picos de velocidad máxima* de mano-brazo, brazo-cadera y mano-cadera
- *Coefficiente de variación de la mano ejecutora*
- *Porcentaje en Fase, mano-brazo, brazo-cadera y mano-cadera.*





# IV

## Resultados



## IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos, producto de aplicar los procesos de cálculos explicados en el capítulo anterior, se presentarán acompañados de tablas, gráficos de barras con valores medios y su dispersión (desviación típica) expresada con las barras de error, figuras lineales, etc., organizados bajo la siguiente estructura:

### IV.1 Análisis de las variables de rendimiento

#### IV.1.1 Acierto en la trayectoria de la pelota

#### IV.1.2 Precisión espacial

- a) Error absoluto en X – eje transversal
- b) Error absoluto en Y – eje anteroposterior
- c) Error radial medio
- d) Error variable en X – eje transversal
- e) Error variable en Y – eje anteroposterior
- f) Variabilidad del error radial

#### IV.1.3 Velocidad de la pelota

- a) Velocidad media y variabilidad de la velocidad de la pelota
- b) Velocidad media y variabilidad con aciertos de trayectoria

### IV.2 Análisis de las variables cinemáticas

#### IV.2.1 Duración del movimiento

#### IV.2.2 Velocidad del movimiento

- a) Velocidad media del movimiento
- b) Velocidad máxima del movimiento
- c) Diferencia temporal entre picos de velocidad

#### IV.2.3 Varibilidad de la velocidad del movimiento de la mano ejecutora

### IV.3 Análisis de patrones de coordinación

#### IV.3.1 Patrones de coordinación

#### IV.3.2 Distribución de la frecuencia de los patrones de coordinación

#### IV.3.3 Tipo de coordinación por grupo. Porcentaje en fase

#### IV.3.4 Intensidad de la relación

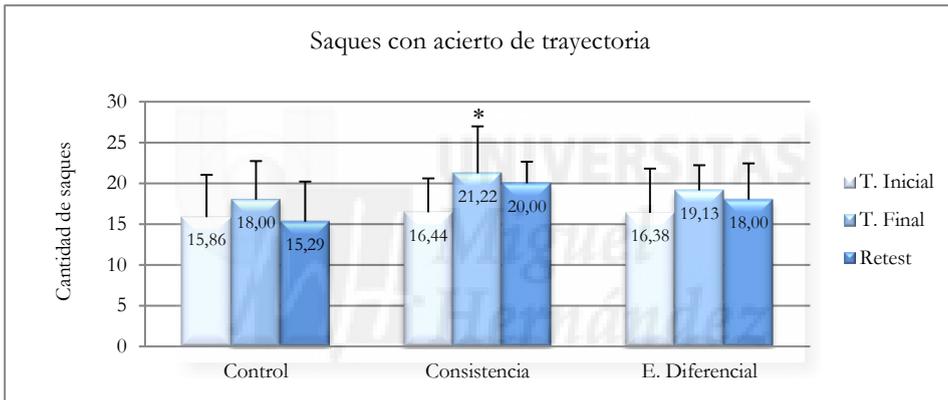
### IV.4 Correlación de variables de rendimiento con cinemáticas

#### IV.4.1 Correlación duración del movimiento con la velocidad mano auxiliar

## IV.1 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE RENDIMIENTO

### IV.1.1 Acierto en la trayectoria de la pelota

Los datos que muestra la Figura 4.1 son los promedios del número de saques ejecutados (sobre un total de 32 por sujeto) que pasaron a la pista contraria por el espacio comprendido entre el borde superior de la red y la cinta ubicada (por encima) a un metro de distancia de esta. Se observa en la gráfica de columnas la mejora del acierto del pasaje del saque en todos los grupos en el test final, existiendo diferencias significativas en el grupo EC ( $F = 5.11$ ;  $p < .05$ ;  $ES = 1.039$ ) entre el test inicial y test final.



\*  $p < .05$  T. inicial – T. final

Figura 4.1. Saques con acierto de trayectoria – Promedio y DS de cada grupo por test

### IV.1.2 Precisión espacial

Como se mencionó anteriormente en el método (III.6.1b), la precisión se valoró a través del cálculo de los errores absolutos y variables por ejes y se obtuvieron también valores del error radial medio y la variabilidad del error radial.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada uno de ellos:

#### a) Error absoluto en $x$ – eje transversal -

En el caso del eje  $x$ , es decir la distancia a derecha o izquierda de la diana, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para ningún grupo. Aunque el grupo ED obtuvo un promedio de 21 cm de menor error, tras el tratamiento, y lo

mantuvo en el retest, los valores no fueron significativamente diferentes como se puede apreciar por la dispersión de los datos (Figura 4.2).

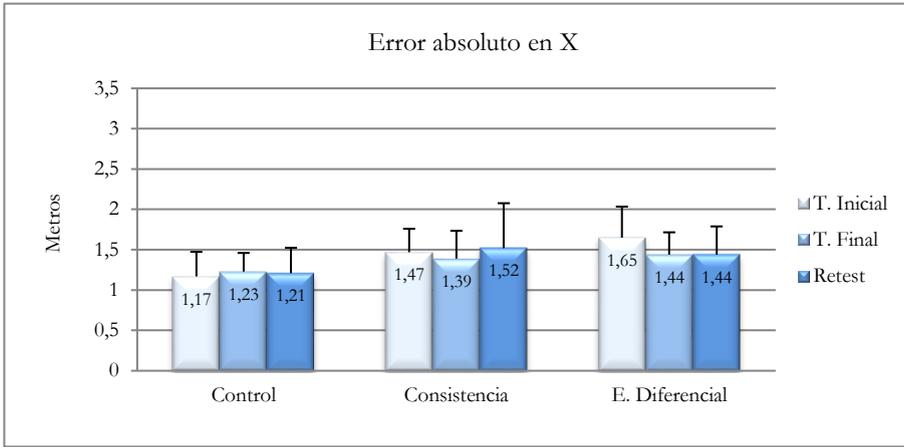
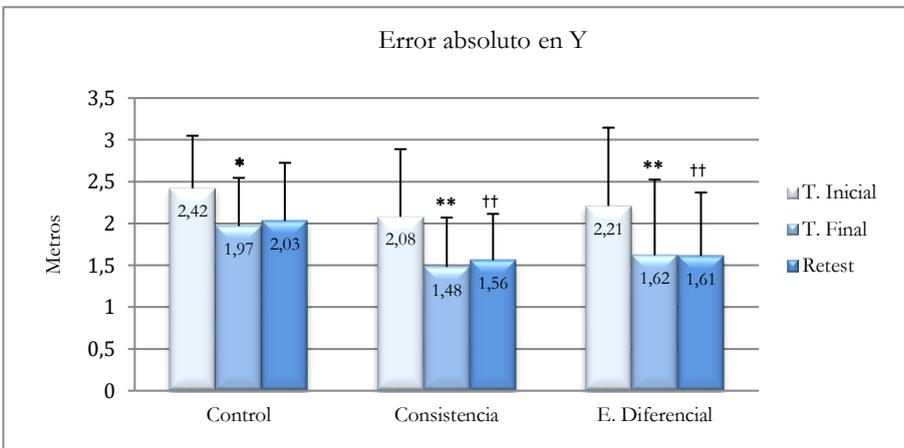


Figura 4.2. Error absoluto en el eje □ – Promedio y DS de cada grupo por test

b) Error absoluto en y – eje anteroposterior–

El cálculo del error absoluto para el eje anteroposterior indicó mejoras estadísticamente significativas (Figura 4.3), entre el test inicial y el test final en el grupo ED ( $F = 11.94$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .557$ ), en el EC ( $F = 20.95$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .666$ ) y en el GC ( $F = 15.45$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .632$ ). En cambio, sólo los grupos ED ( $F = 18.25$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .570$ ) y EC ( $F = 10.30$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .577$ ) muestran diferencias entre el test inicial y el retest.

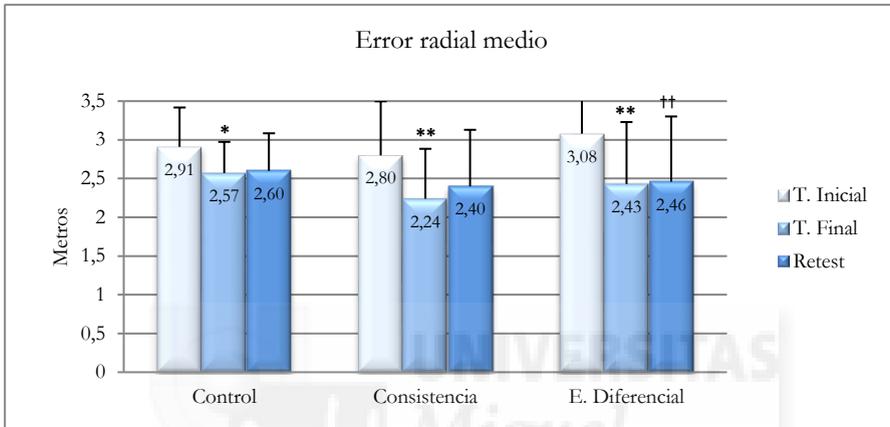


\*  $p < .05$  T. inicial – T. final    \*\*  $p < .01$  T. inicial – T. final    ††  $p < .01$  T. inicial – Retest

Figura 4.3. Error absoluto en el eje □, – Promedio y DS de cada grupo por test

c) Error radial medio

En la Figura 4.4 se pueden observar los estadísticos descriptivos para cada grupo experimental en los tres test, evidenciando mejoras significativas en todos ellos entre el test inicial y test final: grupo GC ( $F = 4.80$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .593$ ), grupo de EC ( $F = 15.30$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .715$ ), y grupo ED ( $F = 19.56$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .728$ ). El grupo ED mostró además significación entre el test final y el retest ( $F = 19.56$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .704$ ).



\*  $p < .05$  T. inicial – T. final \*\*  $p < .01$  T. inicial – T. final- ††  $p < .01$  T. inicial – Retest  
 Figura 4.4. Error radial medio - Promedio y DS por grupo y test

d) Error variable en  $x$  – eje transversal –

El análisis de este error no ha presentado diferencias estadísticamente significativas por efecto del entrenamiento en ninguno de los grupos. Sin embargo, se puede apreciar como los sujetos del ED muestran una tendencia a reducir su variabilidad en este eje entre el test inicial y el test final (Figura 4.5).

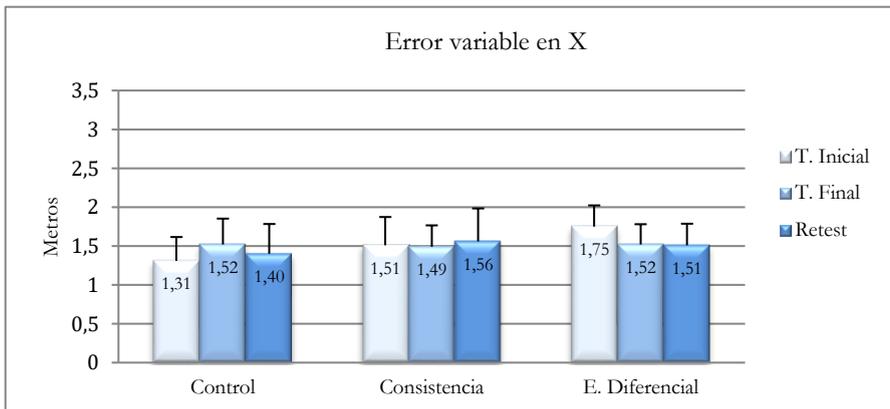
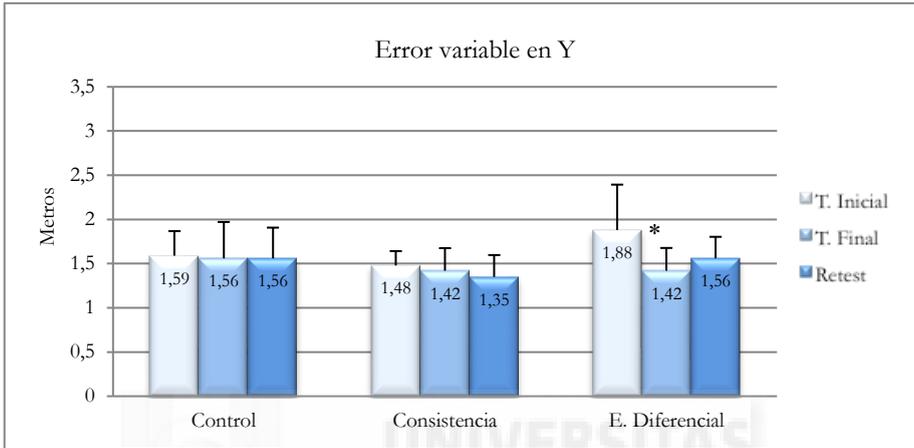


Figura 4.5. Error variable en el eje  $x$  - Promedio y DS por grupo y test

e) Error variable en Y – eje anteroposterior–

En este error variable del eje anteroposterior se han encontrado diferencias significativas sólo en el grupo de ED ( $F = 4.43$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .790$ ) entre las situaciones del test inicial y test final (Figura 4.6), observándose un descenso en su valor.

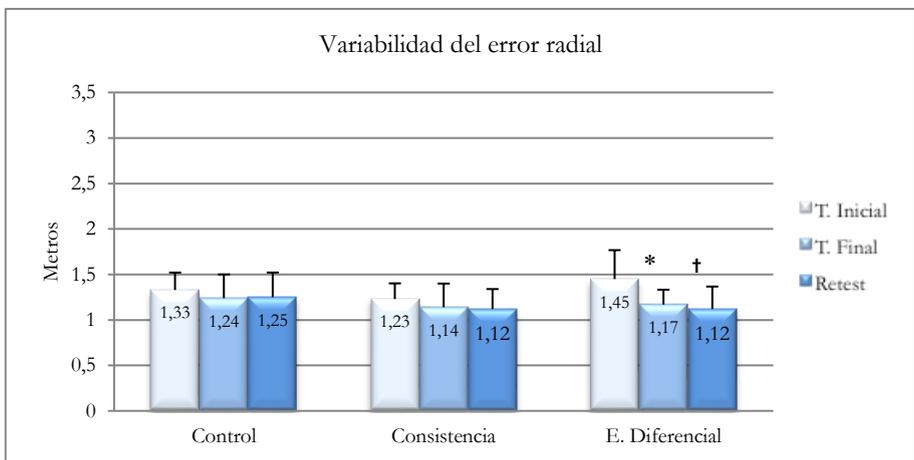


\*  $p < .05$  T. inicial – T. final

Figura 4.6. Error variable en el eje Y - Promedio y DS por grupo y test

f) Variabilidad del error radial

La variabilidad del error radial también presentó diferencias significativas entre los valores iniciales y los del test final ( $F = 5.11$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .790$ ) y en el retest ( $F = 3.40$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .936$ ) para el grupo ED (Figura 4.7).



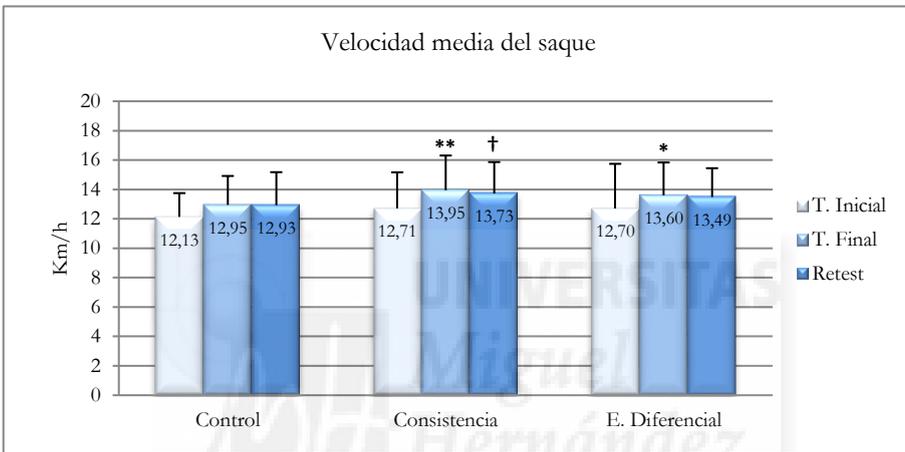
\*  $p < .05$  T. inicial – T. final - †  $p < .05$  T. Inicial – Retest

Figura 4.7. Variabilidad del error radial - Promedio y DS por grupo y test

IV.1.3 **Velocidad de la pelota**

a) Velocidad media y variabilidad de la velocidad de la pelota

En lo que respecta a la evolución de la velocidad media que adquiere la pelota tras el golpeo, se observa en la Figura 4.8 un incremento significativo en la velocidad para el grupo ED entre el test inicial y el test final ( $F = 6.88; p < .05; ES = .420$ ), y para el grupo de EC en las comparaciones test inicial-final ( $F = 9.94; p < .01; ES = .733$ ) y test inicial-retest ( $F = 6.83; p < .05; ES = .602$ ).



\*  $p < .05$  T. inicial – T. final    \*\*  $p < .01$  T. inicial – T. final    †  $p < .05$  T. inicial – Retest  
 Figura 4.8. Velocidad media de la pelota por grupo y test

Con relación a la variabilidad de la velocidad media de la pelota no se obtuvieron significaciones estadísticas pero en la Figura 4.9 se muestran los valores obtenidos.

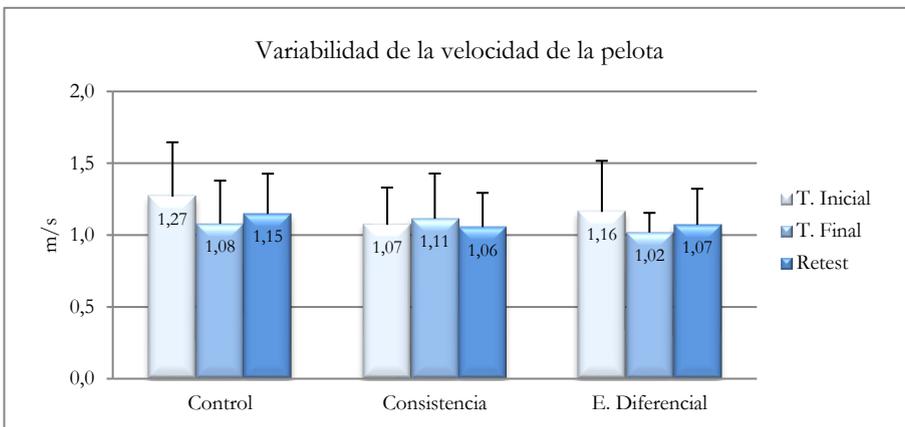
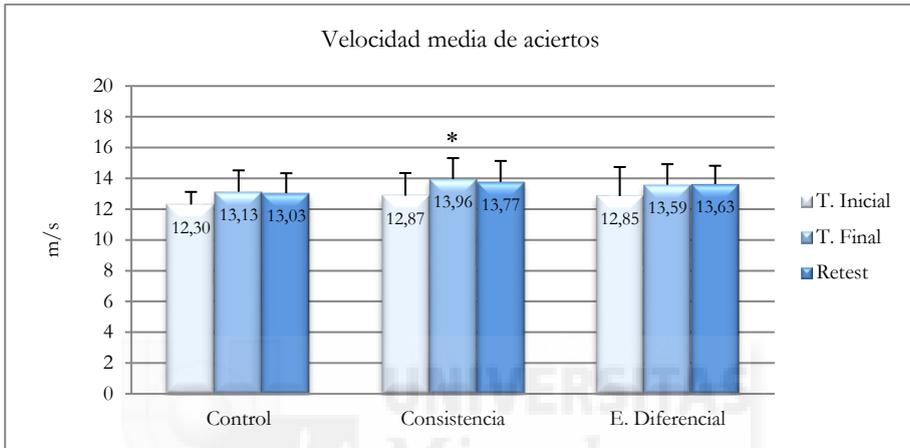


Figura 4.9. Variabilidad de la velocidad de la pelota – Promedio de la DS por grupo y test

b) Velocidad media y variabilidad con aciertos de trayectoria

En la Figura 4.10 sólo se muestra la velocidad de aquellos saques que pasaron entre el borde superior de la red y la banda colocada a un metro de esta. En su análisis se obtuvieron diferencias significativas en el grupo de EC ( $F = 4.78$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .663$ ) para la instancia de test inicial y test final.



\*  $p < .05$  T. inicial – T. final

Figura 4.10. Velocidad media de aciertos - Promedio y DS por grupo y test

La variabilidad de la velocidad de la pelota para el caso de los saques que se ejecutaron con la trayectoria solicitada (entre el borde de la red y la banda) no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales.

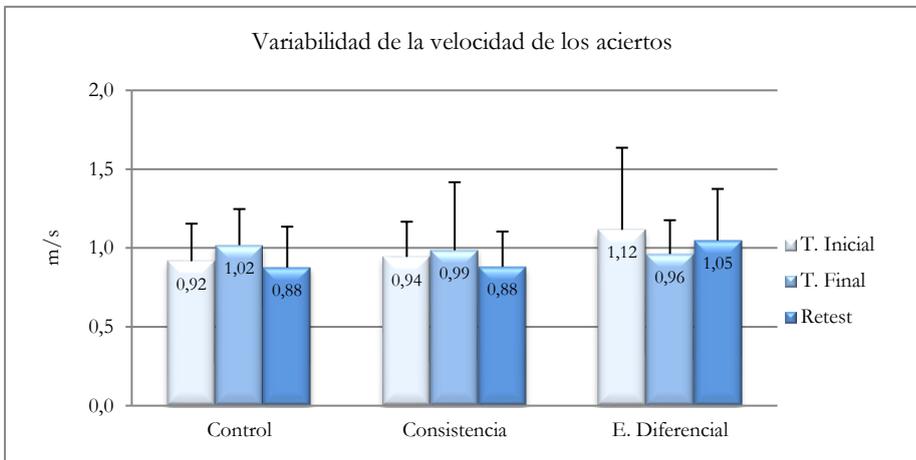


Figura 4.11. Variabilidad de la velocidad media de los aciertos - Promedio y DS por grupo y test

## IV.2 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES CINEMÁTICAS

### IV.2.1 Duración del movimiento

Los resultados de la duración media del movimiento para ejecutar el saque (ver apartado III.6.2 descripción del corte del gesto técnico) se muestran en la Tabla 4.1.

Si bien los valores no presentan diferencias significativa, los descriptivos indican que hay una tendencia a aumentarse el tiempo de ejecución del saque y sobretodo que ese aumento se mantiene en el retest para los grupos de entrenamiento.

**Tabla 4.1** Estadísticos descriptivos de la duración media del saque

Grupo	Duración media (s)					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	.995	± .143	1.001	± .137	.988	± .145
Consistencia	.979	± .137	1.102	± .150	1.070	± .144
Diferencial	1.007	± .157	1.090	± .132	1.065	± .097

Para una observación más detallada de los resultados alcanzados en esta variable por grupo, se muestra en las Figuras 4.12, 4.13 y 4.14 el tiempo que empleó cada sujeto en los diferentes test a los fines de resaltar tendencias y casos puntuales.

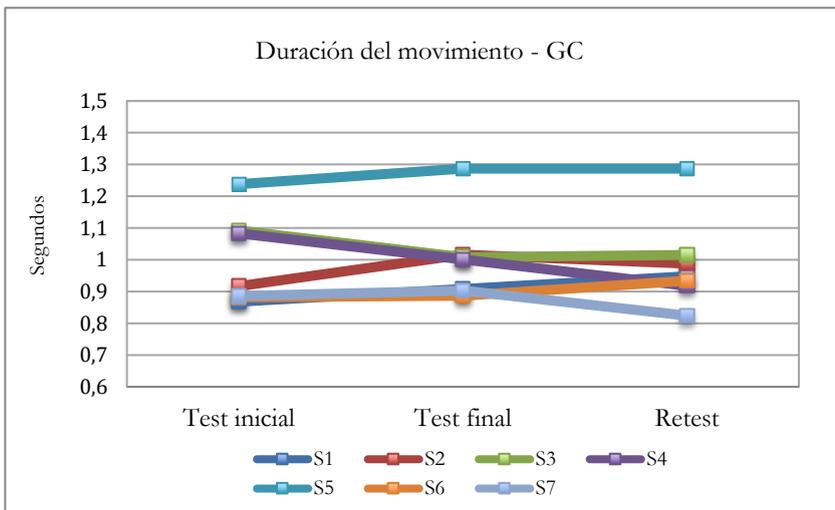


Figura 4.12. Duración del movimiento correspondiente al grupo control en todas las pruebas

En el grupo de EC puede observarse la tendencia de aumento del tiempo de ejecución en todos los sujetos, mientras que en el grupo de ED parece estar empujado por el cambio de un sujeto en concreto (S3 del grupo ED).

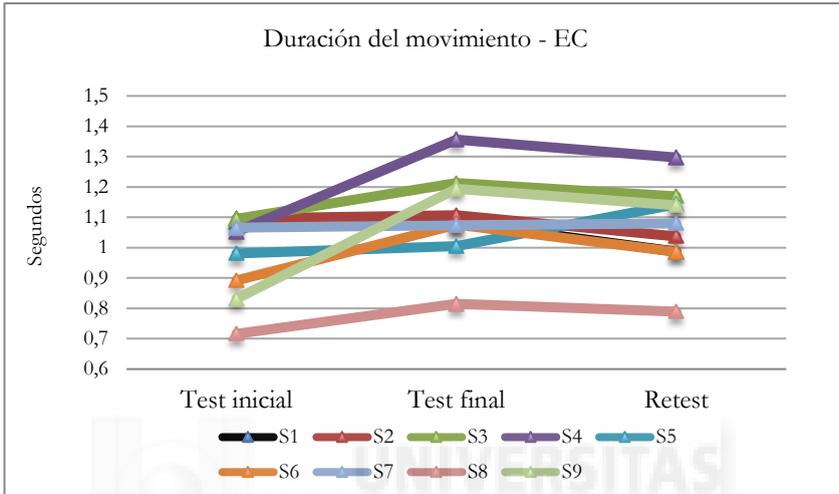


Figura 4.13. Duración del movimiento del grupo entrenamiento consistencia en todas las pruebas

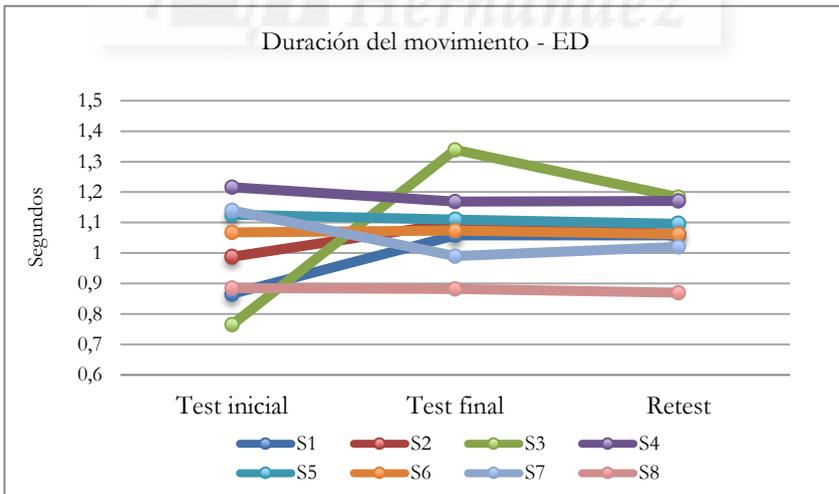


Figura 4.14. Duración del movimiento del grupo entrenamiento diferencial en todas las pruebas

La variabilidad media no dio significación estadística para ninguno de los grupos según se puede observar en la Tabla 4.2 con los descriptivos de estas variables.

**Tabla 4.2** Estadísticos descriptivos de la variabilidad de la duración media del saque

Grupo	DS duración media (s)					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	.069	± .012	.063	±.022	.063	± .013
Consistencia	.069	± .023	.060	±.017	.051	± .012
Diferencial	.069	± .023	.068	±.024	.060	± .017

#### IV.2.2 Velocidad del movimiento

En el análisis de la velocidad del movimiento se muestran los resultados a través del módulo de cada segmento en que se ubicó un sensor para la media y, para la velocidad máxima, se detallan además los descriptivos calculados en cada eje ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

También se obtuvieron las diferencias temporales entre los picos de máxima velocidad de los segmentos corporales y se presenta su análisis.

##### a) Velocidad media del movimiento

Según se puede observar en la Tabla 4.3 el grupo EC reduce el módulo de la velocidad media del S1 (mano que golpea) dando significación estadística en las instancias de test inicial y test final ( $F = 6.30$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .96$ ) y entre el test inicial y el retest ( $F = 6.30$ ;  $p < .01$ ;  $ES = .84$ ).

**Tabla 4.3** Estadísticos descriptivos del módulo de veloc. media por grupo, sensor y test

Grupo	Módulo	Velocidad media (m/s)					
		T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	S1	.348	± .025	.334	± .028	.318	± .018
	S2	.168	± .031	.152	± .033	.149	± .028
	S3	.069	± .022	.066	± .019	.070	± .021
	S4	.287	± .056	.302	± .042	.309	± .050
Consistencia	S1	.336	± .059	<b>.273</b>	± .067 *	<b>.281</b>	± .057 ††
	S2	.154	± .023	.145	± .026	.143	± .015
	S3	.080	± .019	.075	± .012	.079	± .014
	S4	.289	± .029	.292	± .049	.301	± .049
Diferencial	S1	.342	± .061	.297	± .057	.306	± .064
	S2	.165	± .024	.153	± .031	.152	± .038
	S3	.086	± .015	.080	± .012	.081	± .013
	S4	.309	± .018	.303	± .027	.313	± .026

\*  $p < .05$  T. inicial - T. final ††  $p < .01$  T. inicial - T. retest

b) Velocidad máxima del movimiento

En esta variable no se observan, en general, cambios significativos en el análisis por grupos, salvo en los datos registrados en el sensor de la mano auxiliar. De todas maneras se presentan los descriptivos de cada uno de sensores por ejes y sus módulos y una descripción gráfica por sujeto para el sensor de la mano ejecutora.

Velocidad máxima de la mano - Sensor 1

En la velocidad máxima de la mano el cambio parece producirse en el eje Z entre el test inicial y el test final, atenuándose en el retest según puede observarse en la Tabla 4.4, pero sin significación en ninguna de las variables.

**Tabla 4.4** Estadísticos descriptivos veloc. máx. de la mano por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 1		Velocidad máxima (m/s)					
		T. Inicial		T. Final		Retest	
Grupo	Ejes/Mód.	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.211	± .051	.236	± .041	.246	± .033
	y	1.275	± .070	1.297	± .074	1.306	± .108
	z	1.013	± .146	1.038	± .207	.983	± .206
	Módulo	1.546	± .111	1.642	± .115	1.597	± .145
Consistencia	x	.309	± .062	.310	± .094	.336	± .044
	y	1.256	± .110	1.220	± .126	1.262	± .116
	z	1.134	± .216	1.190	± .251	1.143	± .199
	Módulo	1.592	± .139	1.701	± .182	1.643	± .082
Diferencial	x	.297	± .069	.318	± .076	.342	± .098
	y	1.315	± .120	1.259	± .097	1.276	± .057
	z	1.185	± .255	1.305	± .265	1.182	± .256
	Módulo	1.660	± .153	1.787	± .197	1.670	± .166

En las siguientes Figuras (4.15, 4.16 y 4.17) se muestran las gráficas lineales que representan el módulo de la velocidad máxima de la mano ejecutora de cada sujeto en los tres test.

A partir de la gráfica correspondiente al grupo control pueden comprobarse pocos cambios (Figura 4.13), pero es visible el incremento de la velocidad máxima en casi todos los sujetos por el simple efecto de la práctica en los ensayos de los test.

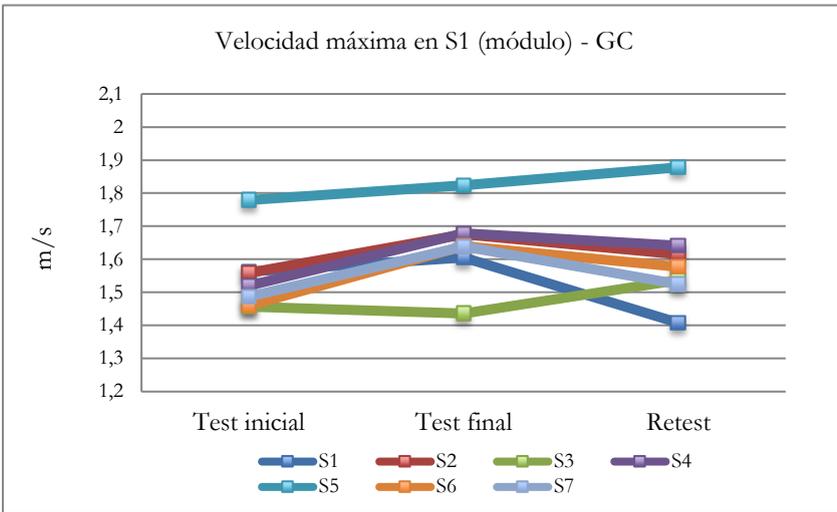


Figura 4.15. Módulo de la velocidad máxima del sensor 1 de los sujetos del GC en los tres test

En la mayoría de los sujetos de los grupos de entrenamiento es más notoria la mejora en esta variable, sobretodo en el test final, y se entiende la no significancia de los resultados por las diferencia en los rendimientos de unos pocos.

En los gráficos 4.16 y 4.17 se pueden observar como la tendencia a incrementar la velocidad de la mano que golpea la pelota tras el test final, es de 6 sujetos sobre 9 en el grupo EC, y de 6 sobre 8 en el grupo ED.

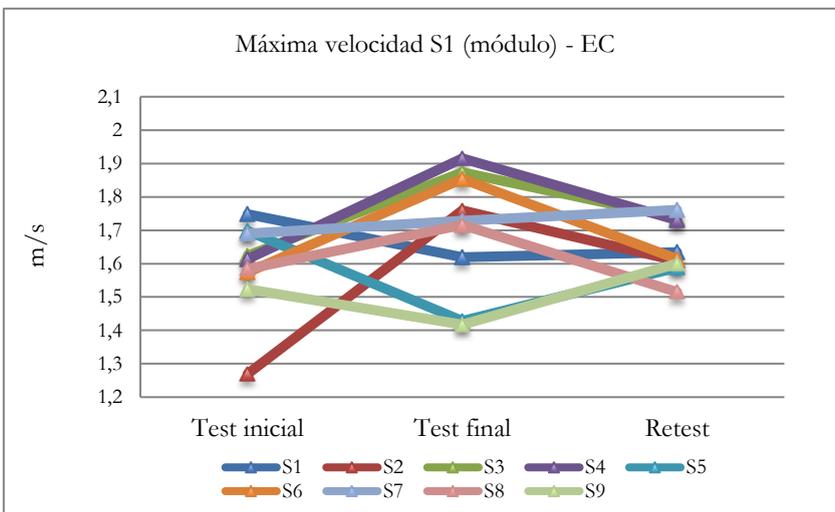


Figura 4.16. Módulo de la velocidad máxima del sensor 1 de los sujetos del EC en los tres test

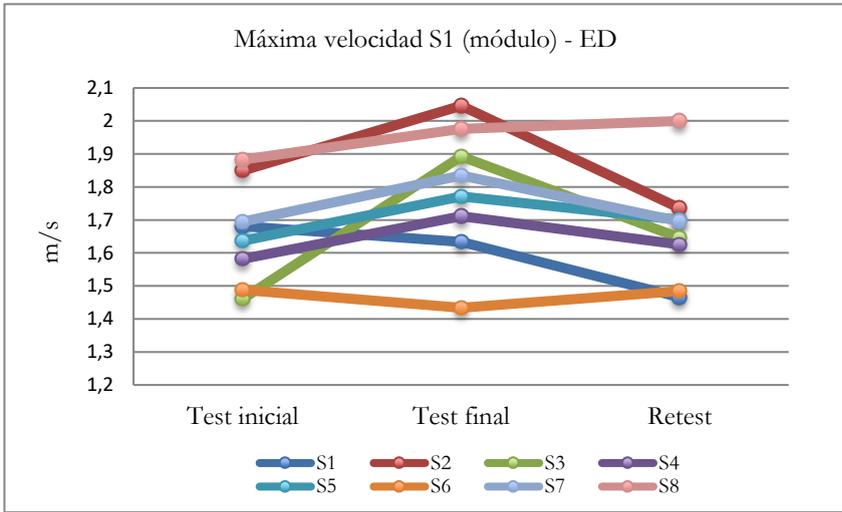


Figura 4.17. Módulo de la velocidad máxima del sensor 1 de los sujetos del ED en los tres test

Velocidad máxima de la cadera - Sensor 3:

En estas variables tampoco se observa que se produjeran modificaciones en la velocidad máxima del brazo en ninguno de los ejes ni en el módulo (tabla 4.5).

Tabla 4.5 Estadísticos descriptivos veloc. máx. del brazo por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 2		Velocidad máxima (m/s)					
Grupo	Ejes/Mód.	T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.232	±.063	.230	±.055	.229	±.076
	y	.482	±.103	.501	±.063	.495	±.097
	z	.342	±.122	.330	±.143	.339	±.142
	Módulo	.577	±.103	.591	±.102	.584	±.119
Consistencia	x	.281	±.080	.262	±.074	.251	±.068
	y	.479	±.060	.510	±.063	.511	±.064
	z	.394	±.105	.430	±.104	.409	±.104
	Módulo	.621	±.083	.658	±.065	.643	±.050
Diferencial	x	.255	±.031	.256	±.059	.232	±.061
	y	.493	±.053	.512	±.062	.499	±.061
	z	.419	±.123	.447	±.105	.443	±.119
	Módulo	.636	±.062	.668	±.060	.649	±.089

Velocidad máxima de la cadera - Sensor 3:

La Tabla 4.6 muestra que en general las velocidades máximas de la cadera se reducen entre el test inicial y test final, dando a entender que aparentemente se consigue un movimiento más controlado.

**Tabla 4.6** Estadísticos descriptivos veloc. máx. de la cadera por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 3		Velocidad máxima (m/s)					
Grupo	Ejes/Mód.	T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.036	± .012	.053	± .025	.050	± .040
	y	.143	± .046	.145	± .035	.151	± .047
	z	.126	± .088	.107	± .092	.118	± .112
	Módulo	.197	± .082	.188	± .079	.201	± .100
Consistencia	x	.055	± .039	.064	± .020	.052	± .015
	y	.148	± .033	.144	± .030	.163	± .032
	z	.136	± .054	.129	± .053	.127	± .059
	Módulo	.202	± .057	.198	± .022	.210	± .033
Diferencial	x	.049	± .019	.065	± .025	.059	± .019
	y	.172	± .032	.161	± .033	.162	± .047
	z	.161	± .078	.158	± .050	.152	± .053
	Módulo	.231	± .050	.221	± .047	.215	± .057

#### Velocidad máxima de la mano auxiliar - Sensor 4:

En la velocidad máxima del movimiento se obtuvo cambio significativo (Tabla 4.7) en el sensor de la mano auxiliar para el grupo EC, indicando un aumento en la velocidad del lanzamiento de la pelota entre el test inicial y el test final ( $F = 4.73$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .74$ ).

**Tabla 4.7** Estadísticos descriptivos veloc. máx. de la mano aux. por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 4		Velocidad máxima (m/s)					
Grupo	Ejes/Mód.	T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.134	± .066	.152	± .078	.169	± .087
	y	.228	± .080	.236	± .075	.244	± .098
	z	.636	± .090	.650	± .060	.653	± .080
	Módulo	.649	± .093	.666	± .064	.670	± .088
Consistencia	x	.191	± .057	.187	± .037	.190	± .043
	y	.239	± .068	.254	± .074	.265	± .077
	z	.680	± .150	<b>.798 *</b>	± .096	.785	± .090
	Módulo	.710	± .137	<b>.823 *</b>	± .096	.810	± .089
Diferencial	x	.178	± .030	.186	± .057	.181	± .048
	y	.255	± .060	.239	± .037	.252	± .038
	z	.677	± .160	.717	± .088	.721	± .066
	Módulo	.699	± .165	.735	± .082	.744	± .055

\*  $p < .05$ ; T. Inicial – T. Final

#### c) Diferencia temporal entre picos de velocidad

En las Tablas 4.8, 4.9 y 4.10, aparecen las diferencias entre los picos de las máximas velocidades alcanzadas por los sensores de la mano, brazo y cadera. El desfase temporal entre los sensores de la mano y el brazo no muestran modificación tras el tratamiento.

**Tabla 4.8** Estadísticos descriptivos de la diferencia de tiempos máximos entre mano y brazo

Grupo	Diferencia temporal m-b (s)					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	.037	± .009	.034	± .009	.037	± .006
Consistencia	.038	± .016	.041	± .020	.044	± .010
Diferencial	.038	± .014	.037	± .013	.042	± .015

**Tabla 4.9** Estadísticos descriptivos de la diferencia de tiempos máximos entre brazo y cadera

Grupo	Diferencia temporal b-c (s)					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	.048	± .030	.061	± .026	.056	± .047
Consistencia	.066	± .031	.066	± .031	.066	± .029
Diferencial	.045	± .018	.062	± .054	.052	± .046

**Tabla 4.10** Estadísticos descriptivos de la diferencia de tiempos máximos entre mano y cadera

Grupo	Diferencia temporal m-c (s)					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	.086	± .035	.095	± .033	.093	± .051
Consistencia	.104	± .043	.107	± .045	.110	± .033
Diferencial	.083	± .024	.099	± .058	.094	± .049

#### IV.2.3 Variabilidad de la velocidad del movimiento de la mano ejecutora

La variabilidad del movimiento de la mano que realiza el golpe a la pelota se cuantificó, a lo largo de los ensayos, utilizando el *coeficiente de variación* calculado a partir del módulo de su velocidad.

En la Tabla 4.11 se puede leer que sólo el grupo de ED mostró valores medios superiores de variabilidad en las distintas pruebas con respecto a la inicial, pero no de manera significativa.

**Tabla 4.11** CV de la velocidad de la mano ejecutora por grupo en cada test.

Grupo	CV velocidad mano (%)					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	23.79	± 7.69	21.16	± 4.93	20.20	± 2.34
Consistencia	22.18	± 7.28	21.09	± 5.77	18.46	± 3.68
Diferencial	20.49	± 5.25	23.46	± 7.10	22.02	± 7.06

Para una mejor observación de la evolución de esta variable CV en cada grupo de intervención, se presentan las gráficas lineales de los sujetos en los distintos test.

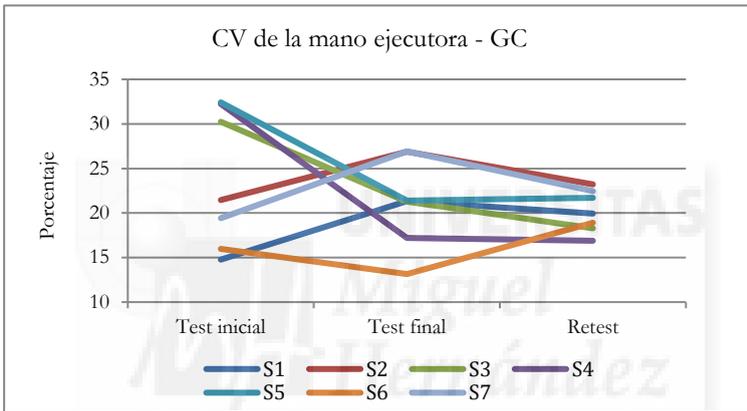


Figura 4.18. Coeficiente de variación de la mano ejecutora de los sujetos del GC en los tres test

En el grupo EC en general, no se producen grandes cambios salvo en dos sujetos que reducen de manera importante el CV tras la práctica (Figura 4.19).

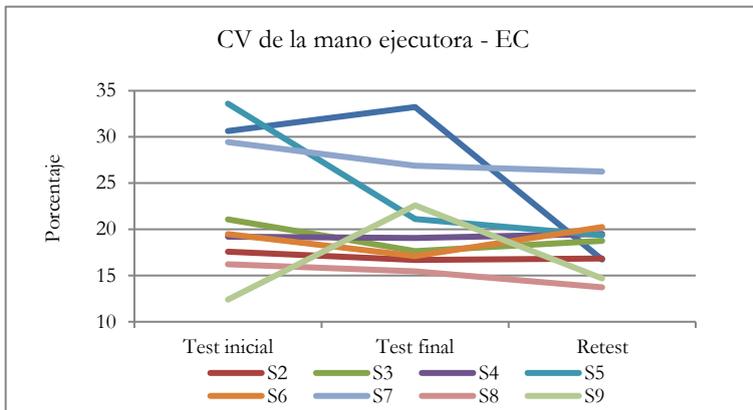


Figura 4.19. Coeficiente de variación de la mano ejecutora de los sujetos del EC en los tres test

A la inversa, para el grupo ED el CV de la mano ejecutora aumenta en casi todos los sujetos, menos en dos que tienden a reducirla (Figura 4.20).

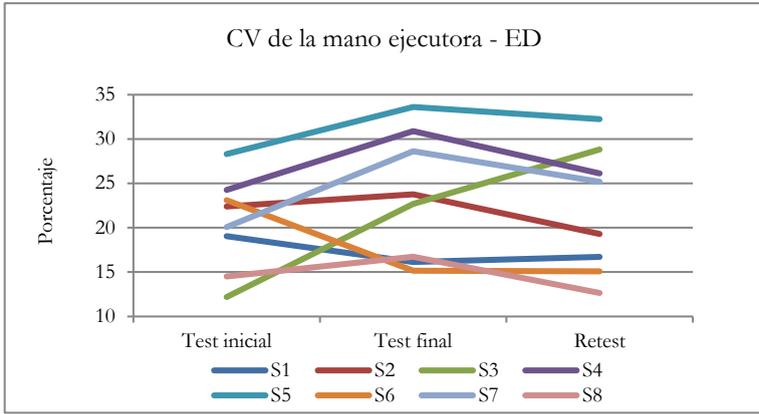


Figura 4.20. Coeficiente de variación de la mano ejecutora de los sujetos del ED en los tres test

A continuación se expondrán, a modo de ejemplo, una serie de figuras que muestran gráficas por test para sujetos seleccionados de cada grupo. La gráfica superior corresponde a las señales del módulo de la velocidad del sensor 1 (mano ejecutora en 32 ensayos) y la gráfica de abajo muestra el coeficiente de variación resultante. Para la selección de los sujetos se tuvo en cuenta el rendimiento (mayor velocidad y mejor precisión en el test final). En el anexo L se completan las señales de todos los sujetos.

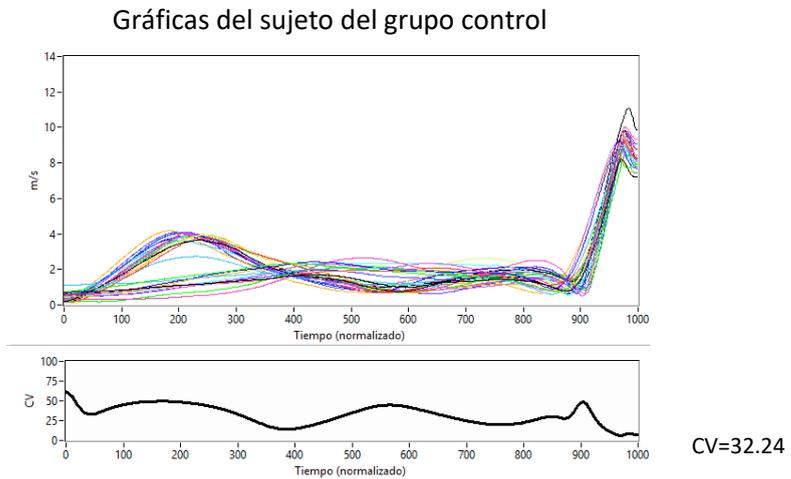


Figura 4.21. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test inicial

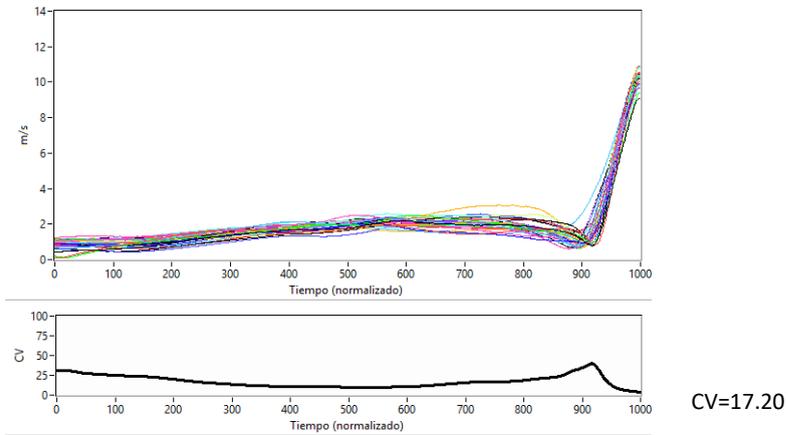


Figura 4.22. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test final

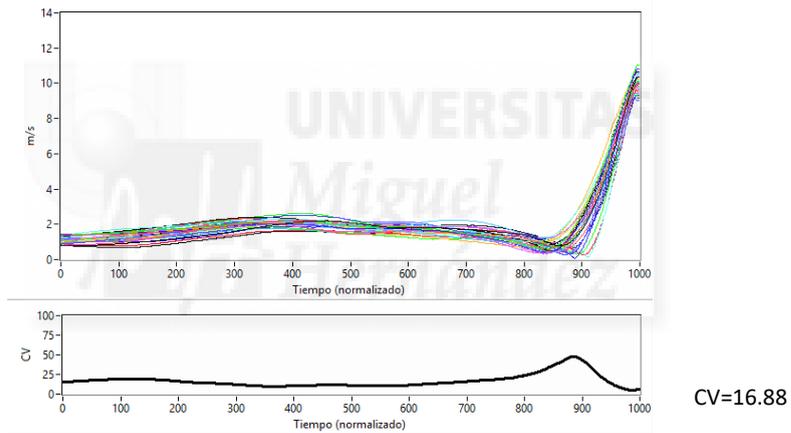


Figura 4.23. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test retest

En las figuras expuestas de los dos sujetos de los grupos de entrenamiento se pueden observar dos tendencias diferentes. Por un lado el sujeto con mayores mejoras en el grupo EC (Figuras 4.24, 4.25 y 4.26) presenta una reducción en el CV de su curva de velocidad tras el tratamiento. Sin embargo en el sujeto que más aumenta su rendimiento en el grupo ED (Figuras 4.27, 4.28 y 4.29) se observa un incremento en su CV.

Gráficas del sujeto de entrenamiento consistencia

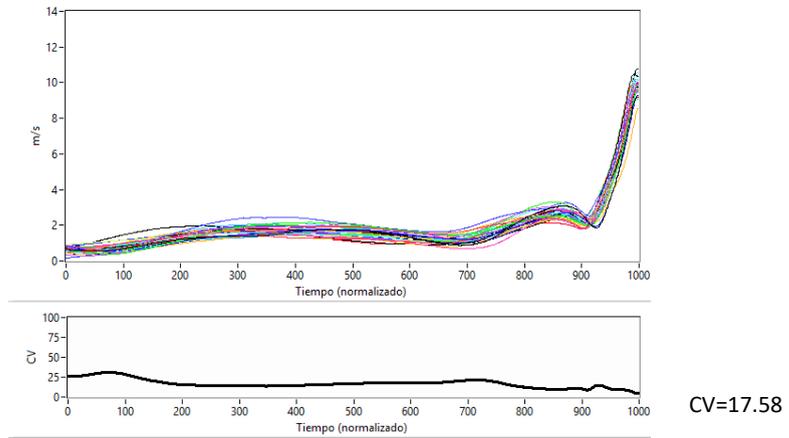


Figura 4.24. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test **inicial**

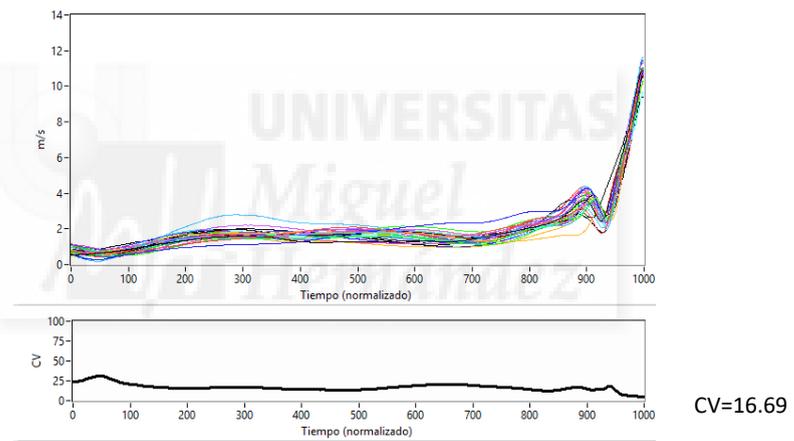


Figura 4.25. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test **final**

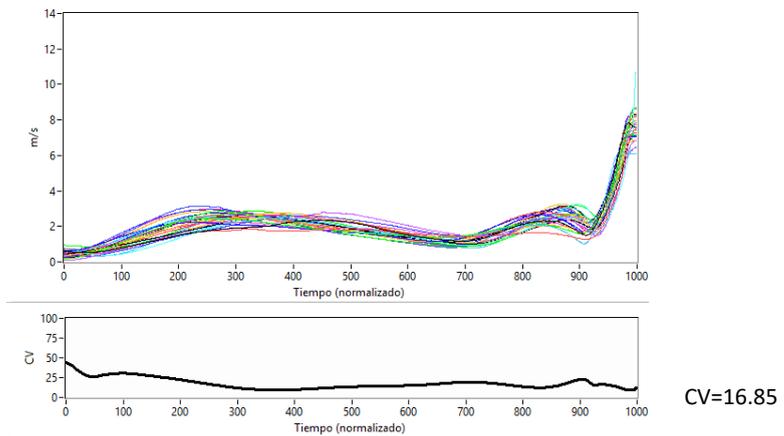


Figura 4.26. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test **retest**

### Gráficas del sujeto de entrenamiento diferencial

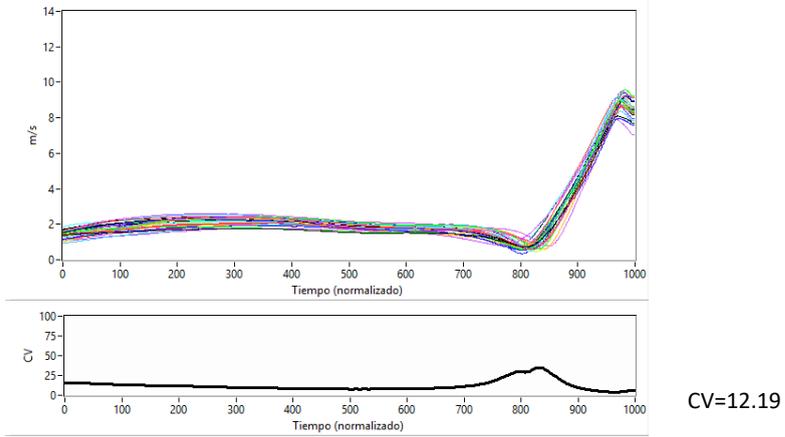


Figura 4.27. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test **inicial**

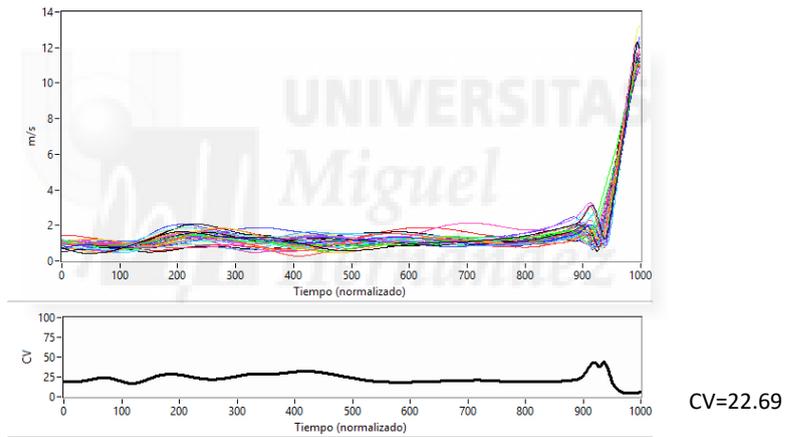


Figura 4.28. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test **final**

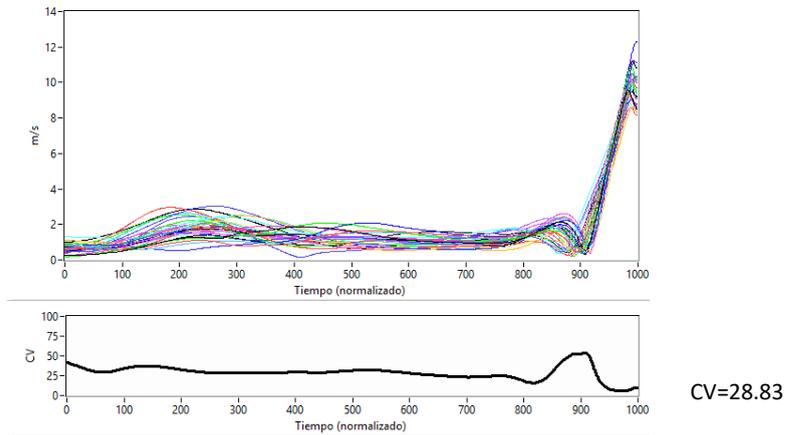


Figura 4.29. Módulo de la velocidad del sensor 1 (32 ensayos) y su CV en el test **retest**

### IV.3 ANÁLISIS DE PATRONES DE COORDINACIÓN

El tipo de patrón de coordinación y la intensidad del acoplamiento entre los componentes mano-brazo, brazo-cadera y mano-cadera se analizaron empleando la técnica de correlación cruzada (Amblard et al., 1994).

#### IV.3.1 Patrones de coordinación

Como se mencionó en el capítulo del método (apartado III.6.3a) el signo del coeficiente de la Cc revela el tipo de coordinación entre los segmentos, estando en *fase* cuando es positivo y en *antifase* para los coeficientes negativos.

Se identificaron cuatro tipos de patrones de coordinación entre todos los sujetos del estudio que se describen en la Tabla 4.12

**Tabla 4.12** Tipos de patrones de coordinación encontrados.

Patrón	Mano -Brazo	Brazo - Cadera	Mano - Cadera
<b>P1</b>	Fase	Fase	Fase
<b>P2</b>	Fase	Fase	Antifase
<b>P3</b>	Fase	Antifase	Antifase
<b>P4</b>	Antifase	Fase	Antifase

En el test inicial todos los sujetos, salvo uno del ED, muestran que la relación mano-brazo (m-b) es tratada como una sola unidad dinámica moviéndose en *fase* en el test inicial (Tabla 4.13). Después del período de entrenamiento, aunque la mayoría mantuvo la misma relación m-b en la segunda y tercera evaluación, se observaron algunos cambios en este par de componentes únicamente en los grupos de intervención EC y ED.

La relación brazo-cadera (b-c) se muestra desacoplada en algunos sujetos en el test inicial pero en los siguientes test se observa la tendencia a mantener el patrón de coordinación en *fase*. Respecto a la vinculación mano-cadera (m-c) se obtuvo que se encuentran en *antifase* desde el test inicial en todos los sujetos (salvo uno del GC) y se mantiene esta disociación en los test posteriores.

**Tabla 4.13** Patrones de coordinación de cada sujeto en los diferentes test

GRUPO	SUJETO	TEST INICIAL				TEST FINAL				RETEST			
		pa-trón	m-b	b-c	m-c	pa-trón	m-b	b-c	m-c	pa-trón	m-b	b-c	m-c
C O N T R O L	SJ1 GC	P3	+	-	-	P3	+	-	-	P3	+	-	-
	SJ2 GC	P3	+	-	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ3 GC	P3	+	-	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ4 GC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ5 GC	P1	+	+	+	P1	+	+	+	P1	+	+	+
	SJ6 GC	P2	+	+	-	P1	+	+	+	P2	+	+	-
	SJ7 GC	P2	+	+	-	P3	+	-	-	P2	+	+	-
C O N S I S T E N C I A	SJ1 EC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P3	+	-	-
	SJ2 EC	P2	+	+	-	P4	-	+	-	P4	-	+	-
	SJ3 EC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ4 EC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ5 EC	P3	+	-	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ6 EC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P4	-	+	-
	SJ7 EC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P4	-	+	-
	SJ8 EC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ9 EC	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
D I F E R E N C I A L	SJ1 ED	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ2 ED	P4	-	+	-	P4	-	+	-	P2	+	+	-
	SJ3 ED	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P4	-	+	-
	SJ4 ED	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ5 ED	P2	+	+	-	P4	-	+	-	P4	-	+	-
	SJ6 ED	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ7 ED	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P2	+	+	-
	SJ8 ED	P2	+	+	-	P2	+	+	-	P1	+	+	+

### IV.3.2 Distribución de la frecuencia de los patrones de coordinación

Para observar en que medida surgieron los diferentes patrones dentro de cada grupo y en los diferentes test, se calculó su frecuencia y se los representó a través de las gráficas de barras que se muestran a continuación (Figuras 4.30 4.31 y 4.32).

El patrón 2 se destaca en todos los grupos y en todos los test. En las ejecuciones durante el test inicial la mayoría desplazó la mano y el brazo en *fase* y la coordinación de la cadera con la mano fue en *antifase*. En el resto de los test para los

grupos de entrenamiento, este patrón tipo 2 se reduce y aparecen otros patrones de coordinación alternativos.

Del grupo de control se observa una presencia más aleatoria en la distribución de los tipos de coordinación, manteniéndose e incluso incrementándose la presencia del P2 en el test de retención.

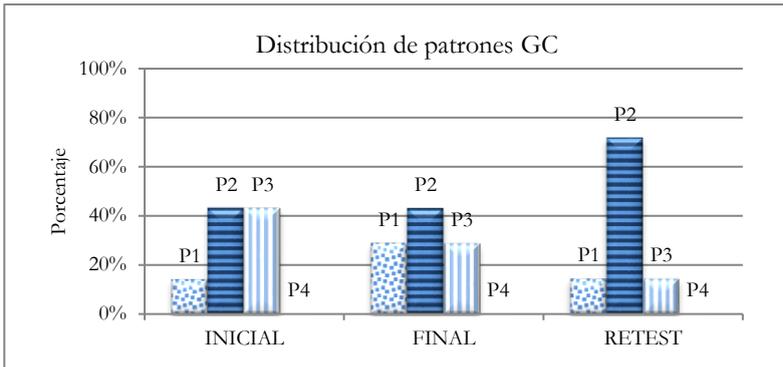


Figura 4.30. Distribución del porcentaje de patrones del grupo GC en los test

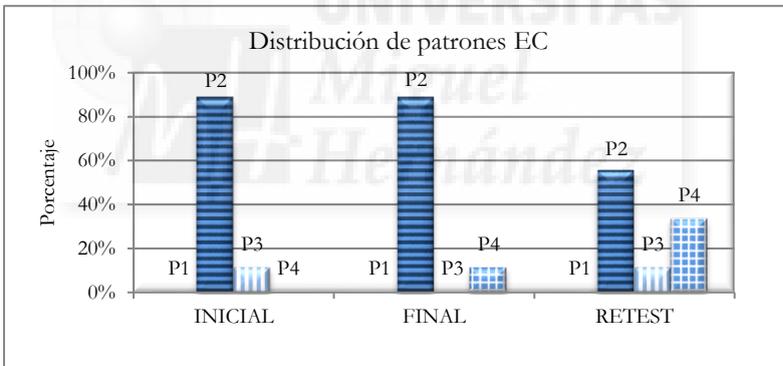


Figura 4.31. Distribución del porcentaje de patrones del grupo EC en los test

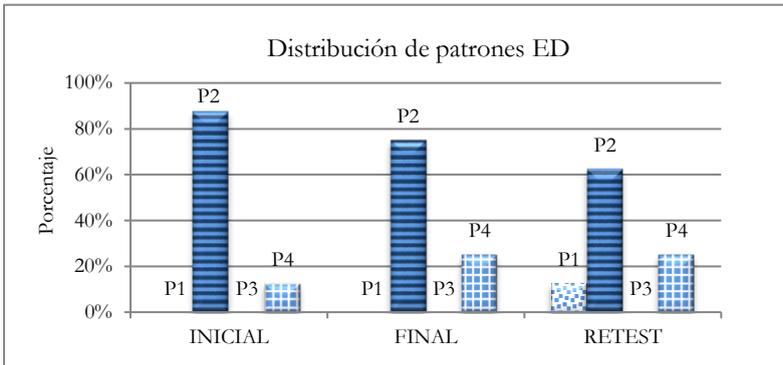


Figura 4.32. Distribución del porcentaje de patrones del grupo de ED en los test

### IV.3.3 Tipo de coordinación por grupo. Porcentaje en Fase

Del Anova de medidas repetidas para analizar el porcentaje en fase de los ensayos con correlación positiva para cada par de puntos (mano-brazo, brazo-cadera y mano-cadera), surgen los siguientes resultados:

En la relación mano-brazo se vió que para el grupo ED ( $F = 6.26$ ;  $p < .05$ ;  $ES = .73$ ) resultó significativa la diferencia entre el test inicial y test final (Tabla 4.14) indicando que existió una modificación, de positivo a negativo del signo del coeficiente de correlación. Es decir que se redujo el grado de vinculación en este par de puntos.

**Tabla 4.14** Descriptivos del porcentaje en fase de la relación mano-brazo

Grupo	Porcentaje en Fase					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	± SD	Media	± SD	Media	± SD
Control	.981	± .049	.944	± .119	.904	± .238
Consistencia	.824	± .157	.830	± .193	.760	± .309
Diferencial	.854	± .265	<b>.635</b>	± .370 *	.703	± .395

\*  $p < .05$ ; T. Inicial – T. Final

En los otros dos par de puntos, el acople en fase no mostró diferencia significativa entre los grupos en los distintos test (Tablas 4.15 y 4.16).

Particularmente en la relación mano-cadera se observa que los porcentajes son bajos debido a que los sujetos desacoplan estos componentes desde el test inicial (ver Tabla 4.16).

**Tabla 4.15** Descriptivos del porcentaje en fase de la relación brazo-cadera

Grupo	Porcentaje en Fase					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	.576	± .361	.766	± .260	.801	± .325
Consistencia	.854	± .212	.814	± .159	.891	± .211
Diferencial	.949	± .099	.906	± .096	.908	± .114

**Tabla 4.16** Descriptivos del porcentaje en fase de la relación mano-cadera

Grupo	Porcentaje en Fase					
	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	.179	± .374	.263	± .451	.201	± .368
Consistencia	.065	± .107	.046	± .076	.063	± .081
Diferencial	.093	± .135	.078	± .164	.078	± .221

IV.3.4 **Intensidad de la relación**

El análisis del grado de dependencia de los pares de componentes m-b, b-c y m-c se realizó a partir de los promedios de los valores absolutos del Cc, dando significación estadística para el grupo GC ( $F = 3.67$ ;  $P < .05$ ;  $ES = .79$ ) en el par mano-brazo entre el test inicial y el retest (Tabla 4.17), y para el grupo ED ( $F = 5.46$ ;  $P < .05$ ;  $ES = .76$ ) en el par mano-cadera entre el test inicial y el final (tabla 4.19).

**Tabla 4.17** Descriptivos de la intensidad de la relación en el par mano-brazo

Intensidad de la relación						
Grupo	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	± SD	Media	± SD	Media	± SD
Control	.639	± .173	.508	± .144	<b>.482</b>	± .156 †
Consistencia	.331	± .180	.351	± .207	.317	± .122
Diferencial	.370	± .185	.324	± .135	.284	± .130

†  $p < .05$ ; T. Inicial – Retest

**Tabla 4.18** Descriptivos de la intensidad de la relación en el par brazo-cadera

Intensidad de la relación						
Grupo	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	± SD	Media	± SD	Media	± SD
Control	.453	± .289	.499	± .292	.568	± .240
Consistencia	.554	± .164	.413	± .182	.555	± .197
Diferencial	.622	± .159	.549	± .147	.540	± .147

**Tabla 4.19** Descriptivos de la intensidad de la relación en el par mano-cadera

Intensidad de la relación						
Grupo	T. Inicial		T. Final		Retest	
	Media	± SD	Media	± SD	Media	± SD
Control	.656	± .210	.580	± .249	.524	± .276
Consistencia	.595	± .223	.665	± .158	.636	± .175
Diferencial	.499	± .251	<b>.714</b>	± .129 *	.653	± .130

\*  $p < .05$ ; T. Inicial – T. final

Para un análisis visual de la relación entre los componentes se presenta a continuación, a modo de ejemplo, un ensayo de un sujeto por grupo de intervención,

que mejoró su rendimiento destacadamente en precisión y velocidad entre el test inicial y test final.

Las gráficas de la Figura 4.33, correspondientes al sujeto del GC, no indican que este hubiese modificado su patrón de movimiento para la relación mano-brazo (A) ni para mano-cadera (B), pero para mano-cadera se observa la tendencia, entre test inicial y retest, a moverse en fase hacia adelante después que la mano haya terminado el contramovimiento, mientras que en el test inicial la cadera se adelantaba primero para luego hacerlo la mano.

### Sujeto grupo control

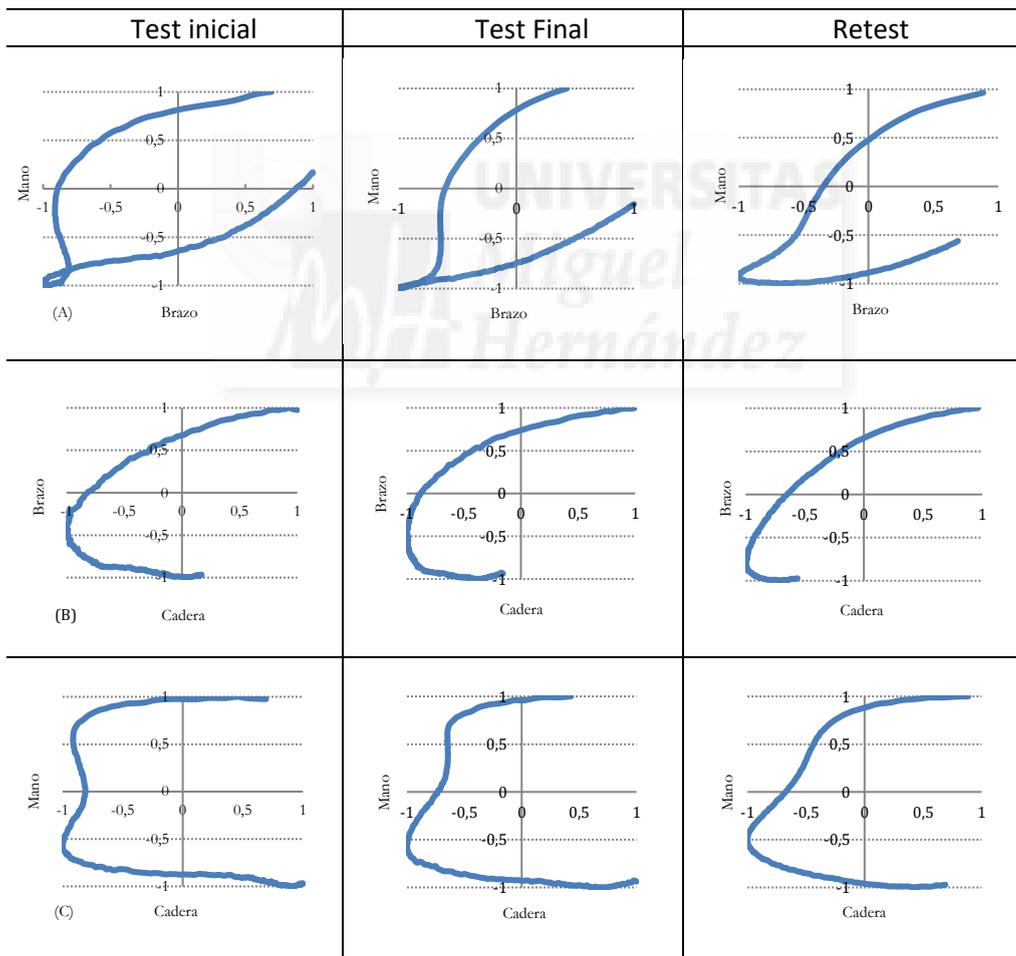


Figura 4.33. Diagramas de posición de pares de articulaciones entre los distintos test del ensayo 10 de un sujeto del GC. (A) Posiciones normalizadas entre la mano (eje X) y el brazo (eje Y). (B) Posiciones normalizadas entre el brazo (eje X) y la cadera (eje Y). (C) Posiciones normalizadas entre la mano (eje X) y la cadera (eje Y).

En los sujetos seleccionados de los grupos de entrenamientos (Figuras 4.34 y 4.35) se denotan mayores cambios en la forma de interactuar los pares de componentes entre los distintos test.

Por ejemplo, el sujeto del EC (Figura 4.34) mueve en antifase el brazo y la mano en el contramovimiento y cambian a un movimiento en fase al llevar mano y brazo hacia delante de manera progresiva a la máxima altura.

Sujeto grupo entrenamiento en consistencia

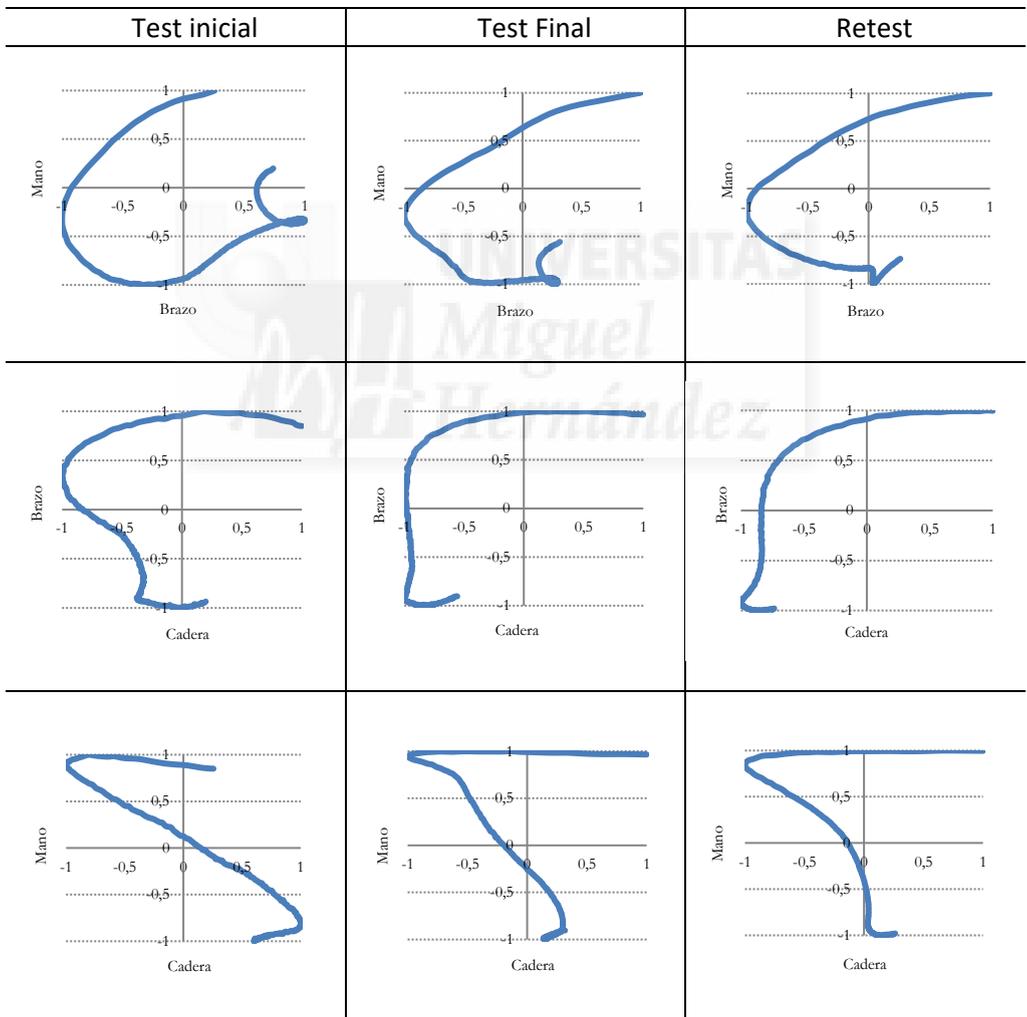


Figura 4.34. Diagramas de posición de pares de articulaciones entre los distintos test del ensayo 10 de un sujeto del grupo EC. (A) Posiciones normalizadas entre la mano (eje X) y el brazo (eje Y). (B) Posiciones normalizadas entre el brazo (eje X) y la cadera (eje Y). (C) Posiciones normalizadas entre la mano (eje X) y la cadera (eje Y).

## Sujeto grupo entrenamiento diferencial

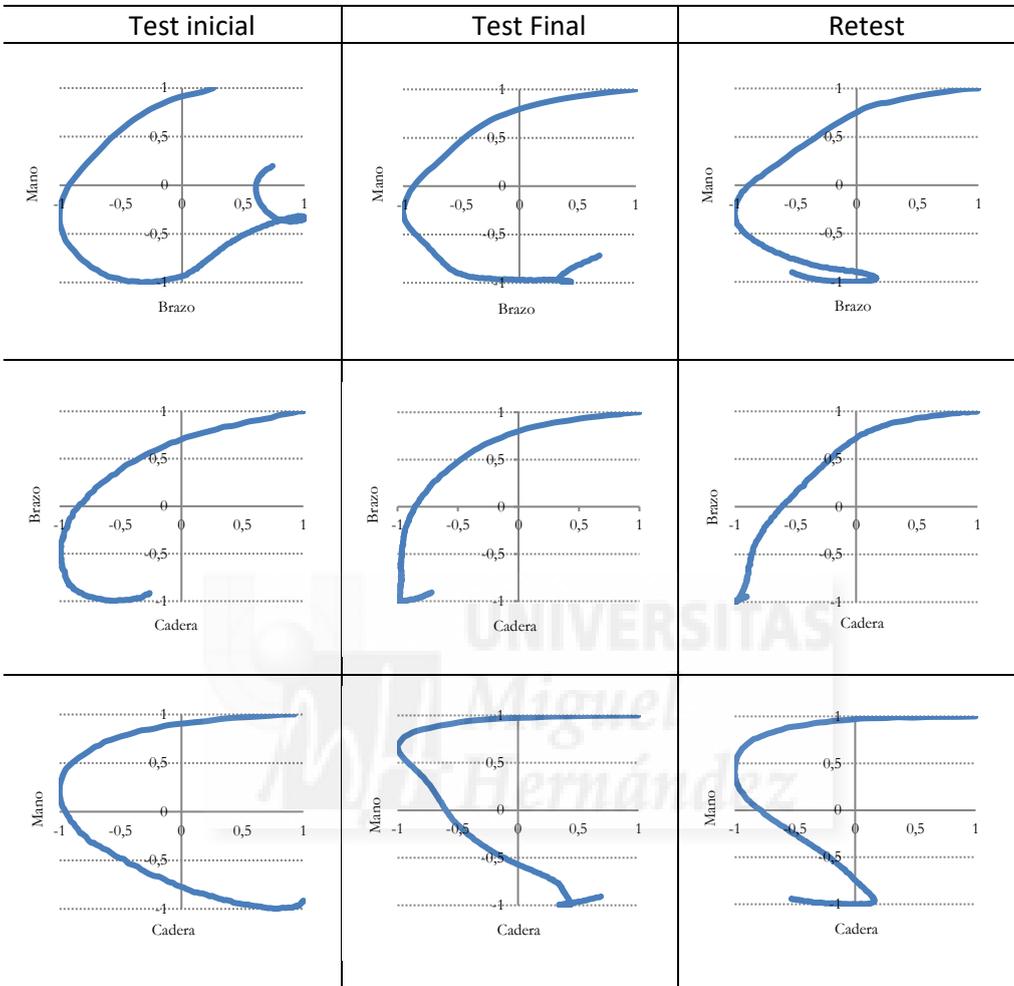


Figura 4.35. Diagramas de posición de pares de articulaciones entre los distintos test del ensayo 10 de un sujeto del grupo ED. (A) Posiciones normalizadas entre la mano (eje X) y el brazo (eje Y). (B) Posiciones normalizadas entre el brazo (eje X) y la cadera (eje Y). (C) Posiciones normalizadas entre la mano (eje X) y la cadera (eje Y).

#### IV.4 CORRELACIÓN DE VARIABLES DE RENDIMIENTO CON CINEMÁTICAS

El resultado calculado para analizar la intensidad de asociación entre algunas variables de rendimiento y cinemáticas, a través de la prueba de correlación de Pearson, se puede observar en la Tabla 4.20.

Es de destacar como la *velocidad de la pelota* correlaciona negativamente de forma moderada con el *error radial medio* de manera significativa en el test inicial ( $P < .01$ ;  $r = -0.666$ ), test final ( $P < .01$ ;  $r = -0.678$ ) y retest ( $P < .01$ ;  $r = -0.553$ ), lo cual refleja como los

participantes con más nivel eran aquellos que conseguían tanto mayores velocidades de golpeo como los que tenían un menor error respecto a la diana.

Los índices de correlación positivos con moderada significancia estadística entre *la velocidad de la pelota* y *la máxima velocidad de la mano* ( $p < .01$ ;  $r = .607$  en el test inicial;  $p < .01$ ;  $r = .648$  en el test final y  $p < .01$ ;  $r = .626$  en el retest) dan muestra de la relevancia de este parámetro para conseguir un golpeo potente.

La asociación positiva entre *la velocidad (pelota)* y *la mano auxiliar* comienza en el test inicial con baja correlación pero luego en los test restante aumenta significativamente ( $P < .05$ ;  $r = .464$ ). Esto concuerda con el análisis de la velocidad máxima del sensor 4 (colocado en la mano que lanza la pelota) que dio significación en uno de los grupos (GC). Parece que la mayoría de los sujetos cambiaron a lanzar la pelota más alta y a impactarla más fuerte por acción de un movimiento más rápido del brazo (correlación positiva significativa *velocidad máxima del brazo* con la *velocidad máxima de la mano auxiliar*).

Otra observación importante que muestra la Tabla 4.20 está relacionado con la correlación significativa entre el *desfase mano-brazo* con la *velocidad de la pelota*, el *error radial medio* y la *velocidad máxima de la mano*. Según se puede ver, los participantes con mayor eficacia (mayor velocidad y menor error) son aquellos que presentan un mayor desfase mano-brazo. Así, cuando los participantes presentan una disociación entre estos componentes (picos de velocidad máximos están más separados en tiempo entre sí), velocidad de salida de la pelota y precisión se ven favorecidas.

La *velocidad máxima de la mano, brazo y cadera* mostraron correlación positiva significativa con las variables *fase brazo-cadera* y *fase mano-cadera*, que representan el porcentaje de la coordinación en fase entre estos últimos componentes, aportando que existe una asociación importante entre los puntos de máxima velocidad de los segmentos con el acoplamiento en fase de la relación de la cadera con la mano y el brazo.

**Tabla 4.20** Correlación entre variables de rendimiento y cinemáticas en cada uno de los test para todos los grupos

VARIABLES		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Velocidad pelota	TI	<b>-.666**</b>	<b>.607**</b>	.274	.129	.207	<b>.640**</b>	.108	.322	<b>.440*</b>	-.373	-.003	-.114
	TF	<b>-.678**</b>	<b>.648**</b>	.312	.282	<b>.415*</b>	<b>.505*</b>	.312	<b>.420*</b>	.179	-.348	<b>.546**</b>	.247
	RT	<b>-.553**</b>	<b>.626**</b>	<b>.464*</b>	.359	<b>.534**</b>	<b>.481*</b>	.037	.156	.353	-.199	.320	.315
2 Error radial medio	TI		-.232	.131	.166	-.019	<b>-.554**</b>	-.286	<b>-.431*</b>	-.149	.148	.204	-.051
	TF		<b>-.503*</b>	-.005	.051	-.079	<b>-.625**</b>	-.297	<b>-.447*</b>	-.256	.227	-.190	-.084
	RT		-.337	-.102	.084	.161	<b>-.567**</b>	-.111	-.246	-.065	.212	-.012	-.045
3 Veloc. máx. mano	TI			<b>.735**</b>	<b>.553**</b>	.090	<b>.468*</b>	.089	.243	.267	-.250	.246	.348
	TF			<b>.570**</b>	<b>.490*</b>	.219	<b>.507*</b>	.014	.175	.021	-.345	<b>.460*</b>	.148
	RT			<b>.781**</b>	<b>.652**</b>	.297	<b>.462*</b>	-.208	-.073	.114	-.054	<b>.466*</b>	<b>.699**</b>
4 Veloc. máx. brazo	TI				<b>.780**</b>	-.032	.130	.103	.130	.113	-.077	.285	<b>.465*</b>
	TF				<b>.789**</b>	<b>.436*</b>	.350	.050	.154	-.088	-.029	<b>.478*</b>	.331
	RT				<b>.766**</b>	.355	.203	-.132	-.069	-.114	.014	<b>.497*</b>	<b>.649**</b>
5 Veloc. máx. cadera	TI					-.173	.028	.001	.010	-.009	-.160	<b>.470*</b>	<b>.594**</b>
	TF					.246	.196	-.101	-.020	-.258	.035	<b>.482*</b>	<b>.525**</b>
	RT					.350	.039	-.029	-.017	-.082	.143	<b>.469*</b>	<b>.802**</b>
6 Veloc. máx. mano aux.	TI						<b>.444*</b>	.376	<b>.462*</b>	<b>.420*</b>	-.067	.158	.270
	TF						.055	.186	.171	.130	-.212	.144	-.053
	RT						.087	.006	.028	.180	-.224	.268	.102
7 Desfase mano-brazo	TI						.401	<b>.686**</b>	.308	-.350	.030	.346	
	TF						.402	<b>.655**</b>	.315	-.134	.278	-.008	
	RT						.207	<b>.443*</b>	.357	-.043	-.112	.191	
8 Desfase brazo-cadera	TI								<b>.941**</b>	.223	-.113	.112	.271
	TF								<b>.955**</b>	.341	-.165	.008	.004
	RT								<b>.969**</b>	-.153	.199	<b>-.426*</b>	.157
9 Desfase mano-cadera	TI									.290	-.218	.020	.343
	TF									.383	-.180	.097	.001
	RT									-.049	.171	<b>-.418*</b>	.192
10 Coeficiente Variación	TI										.000	.053	.206
	TF										-.390	-.247	-.168
	RT										-.386	.066	-.016
11 Fase mano-brazo	TI											-.139	.188
	TF											-.298	.192
	RT											-.264	.190
12 Fase brazo-cadera	TI												.346
	TF												.375
	RT												.260
13 Fase mano-cadera	TI												1
	TF												1
	RT												1

\* p &lt; .05 \*\* p &lt; .01

IV.4.1 **Correlación: duración del movimiento con la velocidad mano auxiliar**

En la Tabla 4.21 se exponen los resultados del análisis correlacional bivariado de Pearson de las variables cinemáticas: *duración del movimiento*, es decir el tiempo que utiliza el sujeto para realizar el gesto técnico, con el *módulo de la velocidad de la mano auxiliar*, que indica la velocidad con que es lanzada la pelota para luego ser golpeada. Con esta asociación de variables se pretende observar cómo influye una sobre la otra de manera general en todos los grupos, y de forma particular en cada uno de ellos en los diferentes test.

**Tabla 4.21** Correlación duración movimiento con mód. velocidad máx. mano auxiliar

Correlación Duración movimiento / Módulo veloc. máx. de la mano auxiliar			
Grupo	T. Inicial	T. Final	Retest
	Coeficiente de correlación		
Control	432	720	900**
Consistencia	773*	816**	945**
Diferencial	740*	629	656
Todos los grupos	642**	638**	629**

\* p < .05 \*\* p < .01





V

**Discusión**



## V. DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan las discusiones abordadas sobre la base de los resultados alcanzados y descritos anteriormente .

Se dividirá la discusión en los siguientes apartados:

- v.1 Discusión sobre resultados de las variables de rendimiento
- v.2 Discusión sobre resultados de las variables cinemáticas
- v.3 Discusión sobre resultados de los patrones de coordinación
- v.4 Discusión sobre resultados de la correlación de las variables analizadas

### V.1 DISCUSIÓN SOBRE RESULTADOS DE LAS VARIABLES DE RENDIMIENTO

Los resultados de las variables de rendimiento que se obtuvieron se asemejan a otros trabajos de entrenamiento de la técnica (Button, Davids & Schöllhorn, 2006; Schöllhorn, Michelbrink, Welminsiki & Davids, 2009), en donde existen tendencias a mejorar el rendimiento en el gesto del saque de mano alta en apoyo en voleibol, tanto en el grupo EC como en el ED. Sin embargo, esas tendencias observadas en este estudio, no son estadísticamente significativas como las obtenidas en anteriores trabajos de Trockel & Schöllhorn (2003) o de Römer y colaboradores (2003).

El análisis de los resultados por ejes muestra diferencias significativas para todos los grupos en el eje anteroposterior, por lo que se deduce que en la tarea propuesta, las principales modificaciones se obtienen en la profundidad de los saques realizados. Esa mejoría no se observa en el eje lateral, siendo los ajustes en anchura menos sensibles al proceso de aprendizaje planteado.

La digitalización de ensayos respecto a un objetivo ha sido una herramienta empleada en otros trabajos de ED (Beckmann et al., 2010), pero en ellos sólo se ha considerado analizar la distancia del ensayo respecto al objetivo. Es acertado creer que el análisis por ejes es un aspecto relevante para determinar aspectos claves del rendimiento, así como de dónde proceden las modificaciones en dicho rendimiento

durante un proceso de entrenamiento.

Los resultados obtenidos se hallaron en sintonía con otros trabajos de la literatura como el de Römer et al. (2003), quienes aplicaron un protocolo basado en ED para mejorar la recepción del saque en voleibol. En dicho estudio, tanto el grupo de ED como el grupo que ellos denominaron de 'entrenamiento clásico', mejoraron estadísticamente su precisión tras el tratamiento, aunque además obtuvieron diferencias entre grupos al terminar la intervención, siendo mejor la precisión del grupo ED respecto del otro. Estas diferencias entre grupos no aparecen en esta tesis, quizás debido a que el grupo de 'entrenamiento clásico' del trabajo de Römer et al. (2003) hiciera una progresión de ejercicios técnicos en lugar de entrenar directamente la habilidad en sí. Probablemente, esto pudo hacer que la evolución de dicho grupo fuese menor que la encontrada por nosotros bajo la metodología de aprendizaje en consistencia.

En cuanto a la consistencia del error, medido a través del error variable, el grupo de ED ha obtenido una modificación estadísticamente significativa, lo que indica que esta metodología favoreció que los participantes de este grupo redujeran la dispersión en la precisión de sus servicios, aumentando la consistencia del resultado. Fialho, Benda y Ugrinowitsch (2006) hallaron que, ni el entrenamiento en bloque, ni el basado en interferencia contextual, presentaban una tendencia a reducir la desviación típica tras un tratamiento de cuatro sesiones. Esto contrasta con los resultados aquí alcanzados, aunque hay que tener en cuenta que hay una importante diferencia entre la duración del tratamientos de Fialho et al. (2006) y el presente trabajo, y también, que la muestra de dicho estudio era experta, mientras que los participantes en esta investigación eran noveles en la habilidad de aprendizaje requerida. No obstante, esta idea discrepa con las conclusiones de autores como Wulf y Shea (2002), quienes entienden que herramientas como la interferencia contextual o la variabilidad en la práctica deberían estar desestimadas en el proceso de aprendizaje motor, debido a la alta variabilidad que muestran por sí los sujetos más inexpertos. Así, los resultados de esta tesis estarían más acordes con las

sugerencias de Schöllhorn, Michelbrink et al. (2009), quienes afirman que existe un valor óptimo de perturbación en el proceso de aprendizaje que permite mejorar el nivel de adquisición del practicante. Por tanto, la aplicación del ED que se ha llevado a cabo en este estudio, podría ser una carga adecuada de variaciones en la ejecución para mejorar el nivel en participantes sin experiencia.

Los beneficios de las dos metodologías de aprendizaje utilizadas en esta tesis, no sólo se han observado en los parámetros de precisión, sino también en los de la velocidad del saque. Mientras que la precisión ha sido una variable ampliamente estudiada en los trabajos de ED (Trockel & Schöllhorn, 2003; Römer et al., 2003), la valoración de la velocidad está menos referenciada. El trabajo de Wagner y Müller (2008) indica una mejora de este parámetro al aplicar la metodología del ED, aunque hay que señalar que en ese trabajo sólo se intervino sobre un participante. En modalidades donde la precisión y la velocidad del móvil son criterios de rendimiento, se ha observado previamente que tanto el entrenamiento en consistencia como el entrenamiento diferencial, permitirían mejorar la velocidad de lanzamiento. Por ejemplo, La investigación de Hernández, Urbán, Sarabia, Juan-Recio y Moreno (2014) concluyó que tanto el grupo de entrenamiento en consistencia como el de variabilidad aumentaron la velocidad del saque en tenis de forma similar a como ocurrió en este estudio. Este dato es relevante habida cuenta que existen otros trabajos en la literatura que postulan la mejora de la precisión en tareas de lanzamiento vinculada a una reducción de la velocidad o a la no mejora en este parámetro, fundada en la relación inversa que existe entre en el binomio velocidad-precisión reflejado por la Ley de Fitts. Así, por ejemplo, los investigadores García-Herrero, Sabido, Barbado, Martínez y Moreno (2016), encontraron que el entrenamiento en consistencia y el entrenamiento en variabilidad podían mejorar los resultados de precisión de una tarea de lanzamiento, pero condicionado a una reducción de la velocidad en el movimiento por parte de los sujetos inexpertos en esa tarea.

## V.2 DISCUSIONES SOBRE RESULTADOS DE LAS VARIABLES CINEMÁTICAS

Las variables vinculadas a la duración del movimiento no han sufrido modificación observable al analizar los grupos en los distintos períodos. Si bien, podría ser esperable que la duración del gesto disminuyera debido a los aumentos en velocidad de la mano ejecutora (como se verá más adelante), también hay que considerar que se incrementó la altura de lanzamiento de la pelota previo al golpeo, por lo que a pesar del aumento de velocidad, el tiempo total del gesto no se modificó.

Por otro lado, la variabilidad de la duración del saque apenas se ha visto modificada, observándose una pequeña tendencia a reducirse, lo cual era previsto debido a la consistencia que mostraron en la duración de la acción de saque después de los procesos de entrenamiento (sobre todo el grupo de EC). Indicar, en este sentido, que los valores de desviación típica mostrados, como resultado de este estudio, es alto respecto a otros mencionados en la literatura con jugadores expertos (David et al., 1999) en quienes se observan valores de variabilidad que oscilan entre 12 y 39 ms, frente a los valores en torno a 50 y 70 ms del presente estudio, confirmando que el nivel de los participantes era muy bajo en la habilidad estudiada.

En cuanto a las velocidades medias, en los distintos puntos analizados, se observa la tendencia de disminución en prácticamente todos los sensores, en especial en el de la mano ejecutora en la cual el grupo de EC llega incluso a presentar un descenso estadísticamente significativo para el módulo de velocidad, que se entiende se produce por un descenso que se da sobretodo en el eje vertical. De alguna manera el entrenamiento influyó para que los sujetos ejecuten el saque con un recorrido más amplio de la mano, con un contramovimiento importante (valores de recorrido total no presentados en esta tesis), lo que produjo la aparición de velocidades negativas en la fase excéntrica y que dieron por resultado final los valores bajos alcanzados. Este es un aspecto esperable propio del entrenamiento de la habilidad del saque en voleibol, donde algunos estudios han referenciado importantes índices de rotación externa del hombro en expertos para conseguir mayor velocidad de la mano ejecutora y consecuentemente del balón tras el golpeo (Coleman, Benham &

Northcott, 1993; Reeser, Fleisig, Bolt & Ruan, 2010).

Por otro lado, la velocidad máxima de los sensores de la mano y el brazo han mostrado medias superiores tras el periodo de entrenamiento (con cambios entre el 5% y el 7%). Si bien estos cambios no han reflejado diferencias estadísticamente significativas, la tendencia mostrada iría en la línea de otros estudios previos que sí alcanzaron diferencias en este sentido. Así los resultados del estudio en el remate de voleibol de Serrien, Oojien, Goosens y Baeyens (2016b), formularon que la aceleración de estos segmentos son un indicativo de mayor nivel en el ejecutante, entre otras para mostrar una correlación importante con la velocidad que adquiere la pelota en su golpeo (Coleman et al., 1993).

Se destaca también los cambios de velocidad máxima de la mano auxiliar (sensor 4) responsable de lanzar el balón previo al golpeo. Este incremento de velocidad se reflejaría en una mayor altura de lanzamiento de la pelota, hecho que posibilita al aprendiz a disponer de más tiempo para analizar la trayectoria de la pelota lanzada y ajustar así su ejecución (Davids et al., 1999). También es de mencionar cómo la desviación típica de la velocidad máxima de la mano auxiliar se ha reducido considerablemente (hasta el 50% en el grupo de ED), reflejando que los ejecutantes consiguieron estabilizar una velocidad de desplazamiento de la mano auxiliar, y consecuentemente la altura que alcanzará la pelota, indicador propio de jugadores con experiencia en la tarea del saque en voleibol (Davids et al., 1999). Este aspecto es muy importante, pues varios trabajos han mostrado como esa constancia en la altura alcanzada por el balón está relacionado con una mayor posibilidad de golpear en el momento de velocidad cero de la bola, demostrando más eficacia en el gesto del saque (Bertucci, 1979). El aumento de velocidad se ha observado sobre todo en el grupo EC de manera significativa, no así en el grupo de ED que muestra una tendencia sin significación estadística. En referencia a este punto es pertinente indicar que el grupo ED incluía en sus ejercicios, ejecuciones donde la pelota no se golpeaba tras un lanzamiento convencional (por ejemplo realizar el saque tras botar la pelota en el suelo) o con la obligación de que la pelota realizase movimientos poco

habituales (por ejemplo rotación de la bola durante la fase de lanzamiento de la mano auxiliar). Se puede considerar que esta falta de repeticiones de un lanzamiento constante, frente a las acumuladas por el grupo de EC puede haber llevado a que este parámetro no haya cambiado de la misma manera en ambos grupos, observándose que el entrenamiento en consistencia facilitó un atractor que conllevó a un aumento importante de la velocidad de ejecución y a una reducción de la variabilidad en la altura de la pelota lanzada. Por otra parte, el grupo de ED no mostraría ese nuevo atractor, diferente al inicial para este parámetro, pero se podría deducir que la diversidad de ensayos que ejecutó mejoró el ajuste perceptivo, tan importante en este movimiento, y sobre todo aumentó la posibilidad de mejorar esos ajustes en vista a su aplicación en otras habilidades como por ejemplo la técnica del ataque en este mismo deporte, entendiéndose que la gran variabilidad en el vuelo del balón, trabajado bajo la perspectiva del entrenamiento diferencial, enriquecería también dicha técnica.

Para indagar acerca de la relación que un entrenamiento con alta variabilidad como el entrenamiento diferencial, podría tener con la variabilidad de la ejecución por parte de los participantes, se realizó el análisis del CV de todas las curvas de los ensayos analizados. En este sentido no se han obtenido diferencias entre las valoraciones del test inicial y final para este análisis entre ensayos de la variabilidad de la mano ejecutora. Sin embargo, y como sería de esperar, el grupo de EC apenas muestra cambio, aunque sí se observa reducción de la desviación típica lo que refleja que este grupo presenta prácticamente los mismos valores pero con una mayor consistencia en la variabilidad medida de la mano ejecutora. En el grupo de ED se ha observado una tendencia contraria, mostrando valores de CV más altos y acompañados además de una mayor dispersión de los resultados. Ejemplos de esta idea son los datos extraídos de los tres sujetos que tuvieron mejor rendimiento tras el test final, y expuestos entre las Figuras 4.21 y 4.29. En el participante del EC se distinguió la tendencia a reducir su variabilidad, mientras que en el participante de mejor rendimiento del grupo de ED, se observó un incremento importante en esa

variabilidad sobretodo en la fase inicial y final del movimiento. Bajo las perspectivas de los sistemas dinámicos, parece que el EC ha supuesto una “congelación” de grados de libertad por parte del participante de ese grupo, mientras que el participante del grupo de ED parece haber ‘flexibilizado sus ejecuciones teniendo mayores esquemas de movimiento para poder tener éxito en la tarea. Esta idea de un patrón más variable para maximizar el rendimiento ha sido propuesto previamente por varios autores (Button, Seifert, O’Donovan & Davids, 2013) que exponen que la variabilidad del movimiento puede tener un rol funcional vinculado al mayor nivel de rendimiento. Esta hipótesis no ha sido demostrada en la presente tesis doctoral debido a que no se encontró un comportamiento generalizado en todos los participantes, con lo que se planteará en las prospectivas de investigación, la replicación de este estudio con un muestra mayor y con diferentes niveles de rendimiento para contrastar esta idea y revisar qué variables pueden mediar en esta relación entre la variabilidad y rendimiento.

### V.3 DISCUSIONES SOBRE RESULTADOS DE LOS PATRONES DE COORDINACIÓN

Una de las principales aportaciones que la presente tesis doctoral ha tratado de introducir, es la aplicación de herramientas no lineales para el estudio de los patrones de coordinación. Estas herramientas han sido poco empleadas hasta ahora para el estudio de la modificación de la técnica vinculada a los procesos de aprendizaje. Aunque Temprado et al., (1997) había utilizado el análisis de correlaciones cruzadas para estudiar el saque de voleibol, en ese caso se trató sobre las diferencias entre dos grupos según el nivel de experiencia. En este estudio, en cambio, se ha intentado indagar sobre de *un proceso de aprendizaje*, dado la relevancia de esta metodología para el análisis de las secuencias del movimiento (Lees, 2002).

La técnica de la correlación cruzada ha permitido conocer las características de la coordinación en fase o antifase de los segmentos medidos, y estudiar su evolución con las metodologías de aprendizaje propuestas. En su aplicación se halló un patrón

de comportamiento prioritario en el test inicial entre los sujetos participantes que es el patrón que presenta una relación en fase entre mano-brazo y brazo-cadera, y en antifase la relación mano-cadera (patrón 2). De este patrón sorprende la relación en fase brazo-cadera, pues era de esperar que estos segmentos llevarán un comportamiento no similar durante las fases del golpeo. Dado que los participantes en el estudio son sujetos sin experiencia en la tarea que se les proponía hacer, es plausible encontrar ese comportamiento “rígido” entre estos dos segmentos, en la fase inicial del aprendizaje, para tener una sensación subjetiva de “control” de su acción (Newell, 1986, Davids, Button & Bennet, 2008). Si bien tras el proceso de aprendizaje de los dos grupos experimentales, no se podría resaltar ningún nuevo patrón que claramente suponga un atractor nuevo tras el entrenamiento, si se puede concluir que dicho entrenamiento ha reducido la aparición de ese patrón descrito inicialmente hacia otros patrones. La inexistencia de una tendencia de patrón tras la intervención se puede observar hacia patrones con una relación más en antifase (patrones 3 y 4) que emergen en los grupos experimentales durante el test de retención. Bajo la perspectiva de los sistemas dinámicos, las soluciones motrices de cada participante han ido apareciendo en función de los constreñimientos que suponía el proceso de entrenamiento asignado (Davids et al., 1999). Esos constreñimientos o características del entrenamiento, sumado a las experiencias previas del sujeto, provocarían el surgimiento de patrones de movimientos individuales en la búsqueda para hallar soluciones diversas que consigan una coordinación estable durante el aprendizaje del saque en voleibol, lo cual es coherente con las previsiones del efecto del entrenamiento diferencial (Frank, Michelbrink, Beckmann & Schöllhorn, 2008) aunque en nuestro caso no fue un comportamiento exclusivo del grupo ED.

En el estudio de Temprado y col. (1997) tampoco se observó un nuevo patrón claro de comportamiento al que tiendan todos los sujetos. A pesar que estos autores encontraron patrones más en antifase en expertos que en noveles, también hallaron que ciertos los patrones ‘característicos’ de un grupo se podían observar en el otro.

Es decir, encontraron patrones de comportamiento propio de expertos en jugadores noveles, y viceversa. En nuestro estudio se han observado cambios hacia patrones más en antifase, pero sin que uno de los patrones suponga un mayor atractor al que tiendan todos los participantes para mejorar su rendimiento en la tarea del saque en voleibol. Al igual que en el estudio de Temprado y col (1997), en esta investigación es difícil también encontrar cambios al unísono de todo un grupo, debido a otras experiencias de golpes o lanzamientos que pudieran tener los participantes. Probablemente, como proponen Moreno y Ordoño (2015), se deberían concebir las adaptaciones individuales en función del tipo de carga de aprendizaje utilizada, es decir, formular que; ni a todos los sujetos les sería recomendable una práctica en consistencia, ni con entrenamiento diferencial. Prueba de ello son las representaciones gráficas que se presentan sobre las correlaciones cruzadas entre los distintos segmentos. De esta forma las adaptaciones de unos formatos de ejecución a otros patrones emergentes tras el entrenamiento, debe ser analizado de forma dinámica en función de características del aprendiz (Zanone y Kelso, 1992).

Un dato importante que refleja el cambio de patrones de “más rígidos” a patrones “más flexibles”, se encuentran en la reducción significativa del porcentaje en fase de la relación entre mano y brazo que ocurre en el grupo de entrenamiento diferencial después de la intervención. Ese descenso en la relación entre ambos segmentos estaría de acuerdo con la hipótesis de Bernstein demostrada en distintos trabajos (McDonald, Van Emmerik & Newell, 1989; Vereijken, Emmerik, Whiting & Newell, 1992), los cuales exponen que la práctica lleva a una liberación en los grados de libertad de aquellos segmentos que controla el movimiento. Al observar que ese cambio aparece en mayor medida en el grupo ED, sería razonable pensar que un entrenamiento de mayor duración o con un mayor nivel de experiencia de la muestra podría repercutir en que se observaran movimientos “menos rígidos” en participantes que entrenaran bajo esta metodología.

Se obtuvieron también relaciones negativas, aunque no significativas, en el test inicial entre la velocidad de ejecución y los porcentajes en fase del movimiento, es

decir, los sujetos que más rápidos sacaron tuvieron menos relaciones en fase entre los segmentos. Sin embargo, se puede observar como esa relación se invierte totalmente después del entrenamiento en el grupo en consistencia, donde los sujetos que más rápido sacaron fueron aquellas que presentaron una relación en fase importante entre brazo-cadera. De nuevo estos datos lleva a la idea de que en los procesos iniciales de práctica, sobre todo de práctica en consistencia, los participantes pueden optar por estrategias que consistan en ‘congelar’ los grados de libertad, para reducir su variabilidad de ejecución y tener éxito en esa etapa inicial de adquisición de la técnica. En esta línea autores como Serrien et al. (2016a) expusieron que la variabilidad tiene una relación en “U” con el nivel de habilidad en la tarea, siendo alta inicialmente, reduciéndose con la práctica, y volviendo a niveles mayores con la experiencia.

#### **V.4 DISCUSIONES SOBRE RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN DE VARIABLES**

La relación entre la coordinación motora y el rendimiento ha sido analizada desde diferentes enfoques en la literatura científica del área, siendo la correlación entre variables una de las más extendidas entre las valoraciones cuantitativas de la coordinación y, con ello, de la técnica (Lees, 2002). Es por eso que en esta tesis se ha tratado de determinar qué relación podía existir entre los parámetros de rendimiento (velocidad y precisión del saque) y entre algunas de las variables cinemáticas estudiadas. Para ello se realizaron los análisis correlacionales del conjunto de la muestra en el test inicial, y de cada uno de los grupos tras la intervención.

Los análisis de correlaciones del conjunto de la muestra mostraron algunas asociaciones evidentes entre las variables de rendimiento, y otras interesantes entre dichas variables y las cinemáticas. Así, ambas variables indicaron una correlación significativa y moderada con el desfase mano-brazo, lo que muestra que los participantes que mejor rindieron en el test inicial, se caracterizaban por presentar un mayor desfase entre los picos de velocidad lo que estaría acorde con el principio

de secuenciación próximo-distal expuesto por varios autores en el análisis de la técnica de tareas de golpeo o lanzamiento (Putnam, 1991; Wagner, Pfusterschmied, Tilp, Landlinger, Von Duvillard & Müller, 2014). Reseñar que esa correlación aparece también con la velocidad máxima de la mano ejecutora, por lo que esa variable de desfase que indica el menor solapamiento entre picos de velocidad, permite optimizar la velocidad de movimiento de la mano de golpeo que está relacionado con el rendimiento en tareas de golpeo como el saque de voleibol (Coleman, 1997). Por otro lado, la correlación existente en el test inicial y final entre el error radial medio y los desfases mano-brazo y mano-cadera es interesante desde el punto de vista que puede dar indicios de que efectivamente esas variables cinemáticas de desfase podrían ser indicativas de rendimiento en el saque de voleibol.

Otra correlación destacable es la existente, en el test inicial para toda la muestra, entre las variables velocidad del saque y variabilidad de la mano ejecutora. Según arrojaron los resultados parece que los jugadores que más fuerte sacaron fueron aquellos que presentan una mayor variabilidad del patrón, es decir, aquellos que son capaces de reajustar continuamente las características de su movimiento para tener éxito en función del lanzamiento de la pelota previo al golpeo. De acuerdo con Newell (1985), la eficiencia energética es "un principio de coordinación y control" (p.304). La óptima organización de los grados de libertad aparece cuando el ejecutante es capaz de utilizar las fuerzas reactivas de los segmentos corporales durante el movimiento. Así, las propiedades pasivas, mecánicas e inerciales del movimiento de los segmentos corporales son aprovechadas completamente en un movimiento hábil, que se caracteriza por la suavidad y la fluidez. La liberación de grados de libertad provocaría de esta forma que las estructuras de coordinación sean más adaptables.

Si la observación se hace sobre los resultados de la correlación analizada por grupos, se ve que los participantes del grupo EC son los que más aportan a esa correlación, pero que tras la intervención dicha relación se pierde, pasando por otro lado a ser especialmente importante en el grupo de ED

De esta manera, parece que el entrenamiento bajo la perspectiva del ED permitió que los participantes llegaran a desarrollar diferentes soluciones a través de la modificación de las condiciones de la tarea (Davids et al., 1999), lo cual podría estar relacionado con una mejora en la velocidad de ejecución observada en la fuerte correlación tras el proceso de entrenamiento.





# VI

## Conclusiones



## VI. CONCLUSIONES

En base a las hipótesis planteadas para el desarrollo de esta tesis doctoral se exponen a continuación las conclusiones arribadas a partir de los resultados obtenidos:

1

**H1.1** *El entrenamiento diferencial y el entrenamiento en consistencia aumentarán el rendimiento de precisión y velocidad en el aprendizaje del saque de arriba en apoyo del voleibol en principiantes.*

**H1.2** *El entrenamiento diferencial mostrará mayor retención que el entrenamiento en consistencia, en las mejoras del rendimiento logrado.*

La **hipótesis 1.1** se cumple dado que ambos grupos de intervención mejoraron el rendimiento de precisión y de velocidad.

Las dos metodologías de aprendizaje arrojaron resultados estadísticamente significativos en las mediciones del error radial medio y la velocidad de la pelota.

**Conclusión H1.1:** De la interacción de los constreñimientos de la tarea, el entorno y el organismo (Newell,1996), sumado a la práctica, ya sea repitiendo un movimiento bajo la metodología en consistencia o aplicando la variabilidad con el formato del entrenamiento diferencial, se obtienen mejoras en la precisión y la velocidad en jugadores nóveles.

La **hipótesis 1.2** se cumple parcialmente dado que el grupo de entrenamiento diferencial mantiene, e incluso mejora, la precisión (error radial medio) en el retest con significación estadística, pero la velocidad medida de todos los sujetos no muestra ser estadísticamente significativa, en esta última prueba, aunque los resultados siguen siendo mayores que en el test inicial.

**Conclusión H1.2:** La práctica bajo la metodología de aprendizaje realizada en el grupo de entrenamiento diferencial produjo mejoras en la precisión que fueron más estables en el tiempo coincidiendo con Beckmann & Schöllhorn (2003).

Si bien la variable velocidad de la pelota no se reportó con significación estadística para el retest, se observó que la mayoría de los sujetos del ED consiguieron sacar más fuerte que en el test inicial.

**2**

***H2** El entrenamiento diferencial y el entrenamiento en consistencia reducirán la dispersión de los resultados mejorando la consistencia del error.*

La **hipótesis 2** se confirma parcialmente porque únicamente los resultados de la variabilidad del error radial dieron significación estadística para el grupo de entrenamiento diferencial.

**Conclusión H2:** La práctica llevada a cabo por el grupo de entrenamiento diferencial favoreció la reducción de la dispersión en la precisión de los saques, aumentando la consistencia de los resultados en concordancia con lo sugerido por Schöllhorn, Michelbrink y col. (2009) quienes sostienen que un nivel de perturbación óptimo mejora el aprendizaje.

El grupo que trabajó con entrenamiento en consistencia, sin más variabilidad que la intrínseca no mostró que la reducción en la dispersión de los saques que obtuvieran fuera significativa.

**3**

***H3** La velocidad máxima de la mano y el brazo aumentará en mayor medida en el grupo de entrenamiento diferencial.*

La **hipótesis 3** no se cumple según los resultados alcanzados, dado que no se obtuvieron diferencias significativas en el análisis de las velocidades máximas que alcanzaron la mano y el brazo.

**Conclusión H3:** A pesar de la tendencia a incrementarse la velocidad de la mano y del brazo, no se hallan resultados significativos en ambos segmentos, con lo que no se puede atribuir a este factor la ganancia en la velocidad del saque, incluso para ambos grupos.

## 4

**H4.1** *La variabilidad del movimiento de la mano ejecutora se verá reducida en los sujetos del grupo de entrenamiento en consistencia.*

**H4.2** *La variabilidad del movimiento de la mano ejecutora se verá incrementada en los sujetos del grupo de entrenamiento diferencial.*

La **hipótesis 4.1** no se cumple de manera significativa porque los valores de la variabilidad (CV) de la velocidad de la mano que golpea la pelota, para el grupo que entrenó en consistencia, no mostraron prácticamente cambios luego de la intervención, aunque sí redujeron su desviación típica tanto en el test final como en el retest.

**Conclusión H4.1:** El entrenamiento en consistencia para el aprendizaje del saque de arriba en jugadores noveles no asegura la reducción de la variabilidad de la mano que ejecuta el golpe, pero sí permite conseguir una mayor consistencia en esa variabilidad (desviación típica del CV).

La **hipótesis 4.2** no se cumple para los valores de la variabilidad (CV) de la velocidad de la mano que golpea la pelota para el grupo de entrenamiento diferencial. Aunque se haya observado en el análisis de los resultados una tendencia a incrementarse acompañado de una mayor dispersión tras el test final, estas diferencias no llegaron a ser significativas.

**Conclusión H4.2:** Si bien no se obtuvieron resultados con diferencia significativa en la variable CV para el grupo de entrenamiento diferencial, se pueden observar, a diferencia del entrenamiento en consistencia, valores más altos y con mayor dispersión después del período de práctica y en el retest.

## 5

**H5.1** Los sujetos de los grupos de entrenamiento modificarán el tipo de coordinación a un patrón diferente después de la práctica.

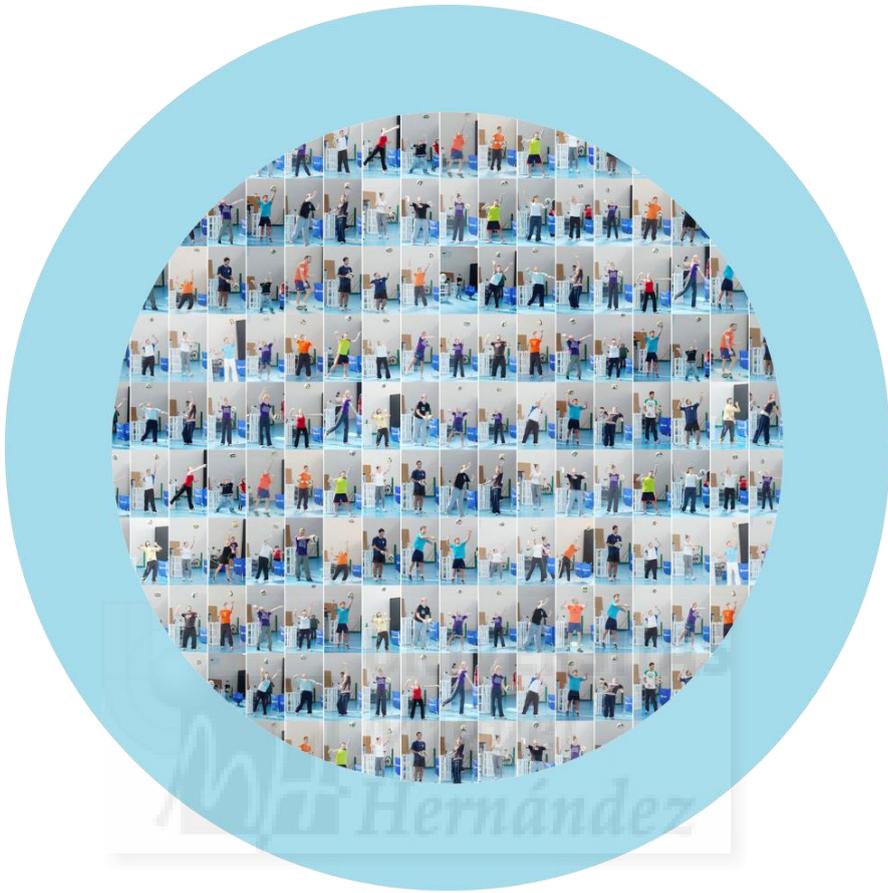
**H5.2** Los sujetos del grupo de entrenamiento diferencial mostrarán un patrón de coordinación con mayor disociación en los segmentos implicados en el saque.

La **hipótesis 5.1** no se puede afirmar que se cumple porque si bien ha habido cambios hacia patrones más en *antifase*, según los resultados obtenidos, no es posible decir fehacientemente que sea hacia un patrón común en los participantes de un mismo grupo de tratamiento.

**Conclusión H5.1:** El período de práctica, en cualquiera de las dos modalidades de entrenamiento, no ha demostrado que para el aprendizaje del saque de voleibol en apoyo se puedan encontrar cambios al unísono en todo un mismo grupo, mostrándose adaptaciones individuales de cada sujeto. En este sentido, se acuerda con Zanone y Kelso (1992) que las adaptaciones a patrones emergentes tras el entrenamiento debe ser analizado de forma dinámica en el contexto de cada aprendiz.

La **hipótesis 5.2** se confirma parcialmente pues los sujetos del grupo entrenamiento diferencial redujeron el porcentaje en *fase* sólo de la relación mano-brazo con significación estadística en el test final.

**Conclusión H5.2:** El entrenamiento diferencial facilita una reducción de la relación *fase* a una relación más en *antifase* entre el par mano – brazo en concordancia a lo obtenido por Temprado y col., (1997) concluyendo que la experticia conlleva a una disociación entre los segmentos de la mano y el brazo, compatible con una liberación en los grados de libertad del movimiento (Bernstein, 1967).



# VII

## Limitaciones y perspectivas



## VII. LIMITACIONES Y PROSPECTIVAS

Después de concluida la investigación es menester hacer alusión a aquellos factores que no se pudieron controlar y fueron limitantes en algunos aspectos, a los fines de tenerse en cuenta para los próximos estudios que sean similares a este.

En este capítulo, además enunciar las limitaciones encontradas, se propondrán posibles variantes y/o correcciones, para futuras investigaciones en torno a la temática del voleibol y la metodología del entrenamiento diferencial.

### VII.1 LIMITACIONES

- Una de las dificultades halladas durante el proceso de este estudio fue conseguir la asistencia de los sujetos a las distintas pruebas en las fechas previamente estipuladas, lo que supuso descartar algunos de ellos y por tanto la consecuente reducción de sujetos por grupo, sobretodo del grupo de control. Hay que resaltar que sobre el grupo control no hubo un seguimiento comparable al contacto frecuente como con los otros grupos de intervención. Por otro lado, la proximidad de la fecha del test final a festividades locales pudieron incidir en ausencias de algunos participantes. Dado que estas cuestiones son inherentes a cualquier investigación, tal y como se ha comentado, el incrementar la muestra probablemente hubiese permitido mantener una mayor participación. Así mismo, también se planteó la posibilidad de recompensar la asistencia de los participantes, bien de forma pecuniaria o mediante otros refuerzos, pero se descartó por la influencia que podría tener en su motivación.

- Otra de las limitaciones observadas tiene que ver con el instrumento de medición cinemática Polhemus Liberty (sistema tridimensional de posición), que requiere la conexión de los sensores colocados en los sujetos a través de un cableado. Esto pudo haber influido, en alguna manera, en la ejecución de los movimientos con naturalidad, por lo que deberían utilizarse otro tipo de tecnología menos incómoda para analizar las características cinemáticas del movimiento. Se valoró la utilización de sensores inalámbricos del propio sistema Polhemus, pero por su tamaño y peso,

se consideró que podrían ser más intrusivos que los mismos sensores con cableado, que tienen la propiedad de ser muy pequeños. El uso de otro tipo de sensores como acelerómetros o dispositivos inerciales se plantea como una de las perspectivas de análisis en el futuro.

- También en relación al sensor electromagnético de posición Polhemus, se comprobó en la fase de construcción de las variables que existían varias señales que se registraron alteradas debido a interferencias electromagnéticas. En este sentido se valoraron las señales registradas del Polhemus in situ de manera aleatoria en cada jornada para detectar preventivamente esos registros erróneos, pero es cierto que pudo ser una fuente de error que afecta a la fiabilidad del instrumento. Se consideró realizar el desarrollo de procedimientos estándares para el control de posibles interferencias durante las mediciones.

- Si bien se reemplazó la red con cintas para un registro más preciso de la trayectoria de la pelota, es posible que esta modificación del contexto real de una cancha de voleibol pueda haber tenido algún efecto en el aspecto perceptivo del sujeto al momento de direccionar el saque hacia la diana ubicada en el otro campo. No tenemos constancia de experimentos específicos que hayan analizado el efecto de esta variable, pero consideramos que debe ser tenido en cuenta por los aspectos perceptivos involucrados en la acción.

- Los diferentes niveles de experiencia motriz entre los sujetos voluntarios fue uno de los motivos del análisis de outliers para desestimar participantes que no eran capaces de realizar la prueba (la trayectoria de la pelota no alcanzaba a cruzar al otro campo, por ejemplo). Así el tamaño de la muestra debería haber sido mayor para poder tener margen en caso de las muertes experimentales y poder mantener la fuerza estadística de los resultados.

- Al haberse constituido la muestra con alumnos de la licenciatura en CC de la actividad física y el deporte era prácticamente imposible evitar que realizaran

cualquier otra práctica deportiva que pudiera tener relación con el lanzamiento o el golpeo de la pelota durante el tiempo de registro de este estudio, hecho que pudiera haber repercutido en el rendimiento durante las pruebas. El adecuado control experimental es un criterio fundamental en la investigación, aunque la mayoría de estudios ecológicos o que utilizan muestra real pueden adolecer de esta limitación, siendo necesario la replicación de estos estudios para que las conclusiones sean más sólidas.

## VII.2 PROSPECTIVAS

A partir del desarrollo de esta investigación y de las limitaciones antes mencionadas, se enumeran algunas propuestas que serían interesantes llevarse a cabo dentro del tópico del aprendizaje diferencial y el saque de voleibol.

- ☞ Extrapolar el aprendizaje de la técnica del saque a otras técnicas, como por ejemplo la técnica del remate, a los fines de comprobar uno de los preceptos fundamentales del entrenamiento diferencial.
- ☞ Constituir los grupos de intervención a partir de patrones de coordinación similares.
- ☞ Incluir en la medición el vuelo del balón (previo a golpeo), para establecer como se auto-organiza el sistema a partir del tipo de recorrido que este realice.
- ☞ Analizar los patrones de coordinación en las distintas fases del saque según el vuelo de la pelota, a fin de determinar las relaciones de los segmentos en esos distintos momentos.
- ☞ Complementar el registro cinemático de posición espacial (Polhemus) con otros sistemas como el video-análisis para una observación más detallada del movimiento realizado en contraste con otras variables, como por ejemplo, el cálculo de la altura alcanzada por la pelota en el momento del golpe.

- ☞ Sería interesante aplicar este tipo de estudio con deportistas de diferentes niveles de pericia para analizar el efecto en la cinemática del movimiento después de entrenar con la modalidad del aprendizaje diferencial.
- ☞ Incluir un grupo de entrenamiento de práctica en variabilidad en la práctica para valorar los efectos del entrenamiento diferencial en comparación con otra forma de entrenamiento en variabilidad.
- ☞ Analizar los datos recabados con herramientas no lineales que permitan identificar la estructura de la variabilidad, más allá de la magnitud de esta (van Beers, 2009), para completar el conocimiento de las variaciones que provoca este tipo de entrenamiento en el movimiento.





# A

## Anexos



---

## ANEXOS

---

Anexo A - Formulario de datos de los sujetos voluntarios .....	151
Anexo B - Consentimiento informado.....	152
Anexo C - Cálculo de variables de precisión .....	153
Anexo D - Protocolo de test .....	155
Anexo E - Hoja informativa.....	158
Anexo F - Ejercicios del grupo entrenamiento diferencial .....	159
Anexo G - Outliers .....	163
Anexo H - Señal del sensor de la mano ejecutora .....	165
Anexo I - Esquema del tratamiento de las variables cinemáticas .....	166
Anexo J - Gráficas de posición - posición .....	167
Anexo K - Tablas de velocidad media y máxima del movimiento .....	169
Anexo L - Señales de velocidad de la mano ejecutora .....	171
Anexo M - Análisis correlaciones variables de precisión y cinemáticas .....	178



## ANEXO A

### Formulario de datos de los sujetos voluntarios



Ficha Individual

#### ESTUDIO DE VOLEIBOL: EL SAQUE

FECHA NACIMIENTO

TELÉFONO

MAIL

ALTURA

PESO

ALCANCE

JUGADOR/A VOLEIBOL: SI

NO

AÑOS DE ENTRENAMIENTO:

#### Disponibilidad horaria de entrenamiento

	DÍA	MAÑANA	TARDE
Lunes			
Martes			
Miércoles			
Jueves			
Viernes			

APELLIDO/S

NOMBRE/S

EDAD

SEXO

SEXO

## ANEXO B

### Consentimiento informado

---

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Estudio:** Saque de Tenis del Voleibol, la cinemática de su precisión.

Estimado participante, se le solicita colaborar en un estudio de investigación sobre el movimiento humano. El propósito de dicho estudio, es analizar las variables cinemáticas y la precisión en el movimiento del gesto del saque de tenis del voleibol.

Para ello, se realizarán una serie de pruebas que tienen que ver con repeticiones del saque de tenis del voleibol y luego se analizarán los datos obtenidos. El protocolo durará aproximadamente unos veinte minutos. La prueba no es de carácter invasivo o agresivo ni supone algún riesgo para la salud.

Informarle también que durante la realización del estudio se recogerán imágenes y se harán filmaciones.

Los resultados de esta investigación pueden ser publicados en revistas científicas o se presentados en congresos, pero su imagen o identidad no será divulgada en ningún momento.

.....  
*El/la que suscribe,* .....

*habiendo leído la información precedente, ACEPTA participar del estudio y comprende que dicha participación ES VOLUNTARIA Y QUE PUEDE RETIRARSE DEL MISMO cuando lo disponga sin tener dar explicaciones.*

*Elche, ..... de ..... de 2011*

FIRMA

## ANEXO C

### Cálculo de variables de precisión

El error absoluto se obtuvo aplicando la siguiente fórmula tanto para el eje X como para el eje Y.

$$EA = \frac{\sum |X_i - C|}{n}$$

$i$  = número de ensayo  
 $X_i$  = valor de coordenada X o Y para el ensayo  $i$ .  
 $C$  = valor de coordenada X o Y para la diana en el cuadro de referencia.  
 $n$  = total de ensayos

Para obtener el EA del eje X de los 32 ensayos de un sujeto se hizo la sumatoria de los valores absolutos que resultaron de la diferencia entre el valor de la coordenada X (obtenida en cada punto de caída del saque) menos el valor X de ubicación del centro de la diana dentro del sistema de referencia y a ese resultado se lo dividió en el total de ensayos del sujeto (32).

Por ejemplo el cálculo del EAx para 5 ensayos se haría de la siguiente manera:

C: (X=0.7., Y=5.8 )

Ensayos	$X_i$	$ X_i - 0.7 $
1	2.69	1.99
2	1.00	0.30
3	-2.23	2.93
4	1.74	1.04
5	0.29	0.41
Suma		6.67

$$EA_x = \frac{6.67}{5} = 1.33$$

El error variable, (poner apartado donde se explica el error) fue calculado para ambos ejes aplicando la ecuación:

$$EV = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

$i$  = número de ensayo  
 $X_i$  = valor de coordenada X para el ensayo  $i$   
 $\bar{X}$  = media de X de los 32 ensayos  
 $C$  = valor de coordenada X para centro de la diana en el cuadro de referencia  
 $n$  = total de ensayos

Para ejemplificar la aplicación de esta fórmula se usarán los mismos datos del ejemplo anterior, y se calculará de la siguiente manera:

$$\bar{X} = 0.698$$

Ensayos	$X_i$	$(X_i - \bar{X})$
1	2.69	1.99
2	1.00	0.30
3	-2.23	-2.92
4	1.74	1.04
5	0.29	-0.40
Suma		0.01

$$EV_x = \sqrt{\frac{0.01^2}{5}} = 0.044$$

El error radial medio y la varibilidad del error radial se obtiene mediante el cálculo de la raíz cuadrada de la suma de las distancias reales de la diana menos las digitalizadas al cuadrado.

$$MEA = \sqrt{(X_i - C_x)^2 + (Y_i - C_y)^2}$$

$i$  = número de ensayo

$X_i$  = valor de coordenada X o Y para el ensayo  $i$ .

$C$  = valor de coordenada X o Y para la diana en el cuadro de referencia.

$n$  = total de ensayos

Así, en el ejemplo descrito anteriormente el resultado sería:

C: (X=0.7., Y=5.8 )

Ensayo	$X_i$	$Y_i$	$(X_i - 0.7)^2$	$(Y_i - 5.8)^2$	Módulo
1	5.07	4.05	19.10	3.06	4.707377189
2	4.49	3.77	14.36	4.12	4.299418565
3	3.02	4.48	5.38	1.74	2.669232099
4	4.77	5.34	16.56	0.21	4.095912597
5	4.01	4.63	10.96	1.37	3.510697936

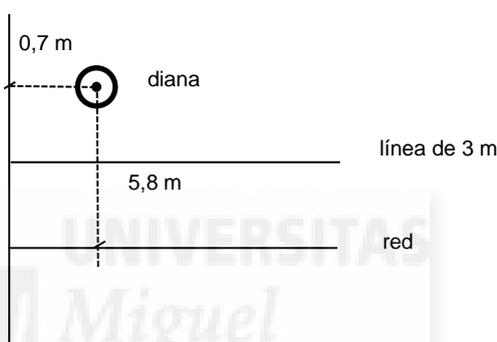
## ANEXO D

### Protocolo de Test

#### PROTOCOLO: Estudio del saque de voleibol

##### Tarea de medición previa

- Preparación de la pista de voleibol
  - Controlar altura y tensión de las bandas
  - Revisar ubicación de la diana dentro del sistema de referencia



- Colocación del radar
  - Sobre el trípode a 1,50 de altura
  - Respetar la marca de ubicación del trípode realizada en el suelo
- Colocación de la cámara en el techo (ver cable alimentación)
  - Verificar carga de la batería
  - Respetar la marca de ubicación del trípode realizada en el suelo
- Canasto de pelotas
  - Controlar cantidad (debe haber 10) y presión de las mismas (entre 0,300 y 0,325 kg/m<sup>3</sup>)
- Lista y horario de participantes
- Equipo Polhemus Liberty
  - Respetar marca de ubicación de la *fuerza de largo alcance* (esfera gde) a derecha de la zona de saque
  - Verificar conexiones de los sensores a la SEU (Unidad Electr. del Sistema)
- Computadora con software para marcar tiempos de saque y descanso entre saque

##### Lugar de la medición

Sala de Registros del Centro de Investigación del Deporte UMH

## Participantes

Los participantes serán diestros y no hay selección por género, el cual se balanceará entre grupos.

## Indicaciones para el sujeto

### *Posición inicial*

- De frente a la red, con pies paralelos orientados a la diana, adelantar ligeramente más el izquierdo.
- Ubicar el balón sobre la mano izquierda a la altura del hombro derecho con brazo semiflexionado.
- Llevar el brazo derecho hacia arriba y atrás elevando el codo por encima de la cabeza, con mano abierta sin flexión de muñeca.

### *Ejecución del saque*

- Lanzar la pelota en la vertical del brazo ejecutor (derecho) al punto del impacto, que está dado por el alcance del brazo extendido hacia arriba y un poco adelante.
- Golpear el balón en su parte media posterior en máxima altura con brazo derecho extendido y hombro lo más alto posible.

## Procedimiento de medición

- 1) Recepción del participante
- 2) Explicación del procedimiento a seguir y entrega del formulario de consentimiento
- 3) Ejecución de la rutina de calentamiento.
  - Estiramiento de hombro y brazos (15 segundos cada posición y con cada brazo)



- 20 Rotaciones de hombro hacia adelante
- 20 Rotaciones de hombro hacia atrás
- 20 Lanzamientos con 2 manos de la pelota contra la pared a una distancia de 4 metros aprox.

## 4) Colocación de los sensores del Polhemus Liberty

- ⇒ Sensor 1: Dorso de la mano ejecutora, cable orientación proximal hacia la muñeca

- ⇒ Sensor 2: Cara externa del brazo, sobre la zona media del surco que forma triceps y el deltoides
- ⇒ Sensor 3: Sobre la espina ilíaca anterosuperior
- ⇒ Sensor 4: Dorso de la mano auxiliar, cable orientación proximal hacia la muñeca

#### 5) Ubicación de los colaboradores en las zonas de registro

- Colaborador 1: A la izquierda del sujeto y de la zona de saque, para controlar que en el canasto de pelotas siempre haya balones.
- Colaborador 2: Detrás del ejecutante controlando el equipo Polhemus y registrando la velocidad marcada por el radar y la precisión del pasaje del saque entre las bandas.
- Colaborador 3: Ubicado en la línea de la red cerca del poste (izquierdo) más alejado a la diana, encargado de marcar cuando la trayectoria del balón era entre las bandas o fuera de ellas.
- Colaborador 4: Ubicado en la línea final para recoger las pelotas.

#### 6) 2 saques de pruebas

#### 7) Test inicial, test final, retest

- (a) 3 series de 8 saques
- (b) Intervalo entre saque: 5 segundos
- (c) Intervalo entre series: 60 segundos

#### 8) Todos los saques se registrarán con una cámara ubicada por encima de la pista.

#### 9) Todos los saques serán medidos con el radar y registrados en una planilla de cálculo.

## ANEXO E

### Hoja informativa entregada al participante en el test inicial



#### Información al participante

*Esta medición forma parte de un proyecto de investigación que se lleva a cabo en el laboratorio de Control Motor del Centro de Investigación del Deporte y está dirigida por el Dr. D. Francisco Moreno.*

*El propósito de este estudio, es analizar las variables cinemáticas del movimiento y la precisión en el gesto del saque de tenis en voleibol.*

Has de realizar tres series de 8 saques de tenis de voleibol desde una posición marcada en la línea final de la pista de voleibol hacia una diana ubicada al otro lado de la red. La trayectoria de la pelota debe pasar entre las dos cintas ubicadas en el centro de la pista.

#### **Técnica del saque**

Frente a la red, con hombros orientados a la zona de la diana. Pies paralelos ligeramente más adelantado el izquierdo y balón sobre la mano izquierda a la altura del hombro derecho. Brazo derecho elevado con codo por encima de la cabeza, y mano abierta sin flexión de muñeca.

Lanzar el balón en la vertical del brazo ejecutor y golpearlo en su parte media posterior en máxima altura con brazo derecho extendido y hombro lo más alto posible.

Si tienes cualquier cuestión no dudes en preguntar.

Gracias por tu participación

## ANEXO F

### Ejercicios del grupo de entrenamiento diferencial

En las siguientes tablas se exponen los ejercicios organizados según el momento del gesto técnico en el cual se introdujo variabilidad.

- Variando la posición inicial
  - Variando el lanzamiento
  - Variando el armado del brazo ejecutor
  - Variando el golpe a la pelota
- Ejercicios que varían la posición inicial

Ejercicio	Descripción	Gráfica	
1	Lanzamiento después de hacer 2 pasos	Ejecución del saque después de hacer 2 pasos perpendiculares a la línea final.	
2	Lanzamiento desde posición lateral	Ejecución del saque partiendo de posición con pies paralelos a la red (un cuarto de giro).	
3	Lanzamiento con salto previo hacia arriba	Ejecutar el saque después de hacer un salto hacia adelante con dos pies juntos.	
4	Lanzamiento con salto lateral derecho	Ejecutar el saque después de hacer un salto con dos pies juntos hacia la derecha.	
5	Lanzamiento con salto lateral izquierdo	Ejecutar el saque después de hacer un salto con dos pies juntos hacia la izquierda.	

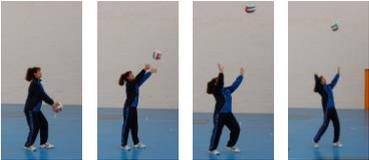
Ejercicio	Descripción	Gráfica
7 Golpe con piernas flexionadas	Ejecutar el saque en semiflexión de piernas.	
8 Golpe con previo paso atrás y uno adelante	Antes de realizar el saque (partiendo de posición de pies paralelos a la misma altura), hacer un paso atrás y luego uno adelante con pie izquierdo.	
9 Saque con pie derecho en el aire	Ejecutar el saque con sustentación sobre pie izquierdo únicamente (pie derecho en el aire).	

▪ Ejercicios que varían el lanzamiento

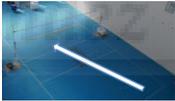
1 Lanzamiento alto	Desde la posición de saque, lanzar la pelota mínimo 2 metros de alto y golpearla en dirección a la diana.	
2 Lanzamiento hasta altura justa de impacto	Desde la posición de saque, acompañar la pelota hasta la altura justa de impacto, dada por el alcance de la mano con brazo extendido, y golpearla en dirección a la diana.	
3 Lanzamiento muy adelante avanza pie izquierdo	A 50 cm. de la posición de saque (marca A), lanzar la pelota adelante para golpearla después de avanzar medio paso con pie izquierdo.	
4 Lanzamiento atrás retrocedo y pego	Desde la posición de saque, lanzar la pelota detrás de la cabeza retroceder medio paso y golpearla en dirección a la diana.	
5 Lanzamiento previo amague	Ejecutar el saque con un amague de lanzamiento previo.	

Ejercicio	Descripción	Gráfica
6	Mareando el balón Antes de lanzar mover la pelota de una mano a otra y luego sacar.	
7	Saque con giro del balón Lanzar el balón haciéndolo girar sobre sí mismo	

#### ▪ Ejercicios variando el armado del brazo

1	Lanzamiento con 2 manos Desde la posición de saque, lanzar la pelota con las 2 manos no más de 50 cm. de altura y golpearla en dirección a la diana.	
2	Lanzamiento previo toque del suelo Ejecutar el saque después de tocar el suelo.	
3	Golpe con saludo hacia atrás (mano rotada) Antes de lanzar la pelota, llevar el brazo semiextendido hacia atrás a la altura del hombro y con palma de mano mirando también atrás.	
4	Golpe con codo flexionado Impactar la pelota con codo a la altura del hombro.	
5	Saque con 4 botes previos del balón Botar el balón 4 veces y luego ejecutar el saque	
6	Lanzamiento con la misma mano que impacta Desde la posición de saque, lanzar la pelota con las 2 manos no más de 50 cm. de altura y golpearla en dirección a la diana.	
7	Golpe con bote previo del balón Botar el balón delante y después del rebote realizar el saque.	

▪ Ejercicios variando el golpe a la pelota

Ejercicio	Descripción	Gráfica
1 Golpe con mano cerrada (puño)	Realizar el saque con el puño cerrado	
2 Golpe con mano abierta (dedos separados)	Realizar el saque con dedos bien separados	
3 Golpe con mano abierta dedos juntos	Realizar el saque con los dedos de la mano muy juntos.	
4 Golpe con base de los dedos	Impactar la pelota con la base de los dedos manteniendo la mano abierta y los dedos semi-separados.	
5 Golpe con el talón de la mano (muñeca)	Ejecutar el saque impactando la pelota con la base de la manos (muñeca)	
6 Golpe por debajo de la red	Pasar el saque al otro campo por debajo de la red.	
7 Golpe con mucha parábola	Pasar el saque al otro campo muy por encima de la red, marcando un gran parábola.	
8 Golpe sobre la derecha del balón	Realizar el saque golpeando la pelota en la superficie derecha de esta.	

## ANEXO G

### Outliers

En la interpretación de un primer análisis de los resultados se observó, a través de los diagramas de caja, que en cinco sujetos los valores resultantes, en diversas variables, daban casos atípicos (valores que superan 1,5 y 3 veces la longitud de la caja desde los bordes) y extremos (valores que superan más de 3 veces la media. Por este motivo se tomó la decisión de eliminarlos.

A continuación se expone un resumen de esos casos:

	○ - Caso atípico			* - Caso extremo		
	Test inicial	Test final	Retest	Test inicial	Test final	Retest
Sujeto 1 EC	MEV VDS Pre A Aciertos Fallos		MEC			EAY MEA VMA VDSA
Sujeto 2 ED	EAY ECY MEA MEC VM Pre A VDS Pre A Aciertos Fallos					
Sujeto 3 GC	EAX EAY ECY VDS Pre A Aciertos Fallos		EAX EAY ECX ECY MEA MEC	MEA MEC VM Pre A		MEA VMA VDSA
Sujeto 4 ED	EAY MEA MEC	EAY MEA MEC				
Sujeto 5 ED		EAY ECX MEA MEC Acierto Dalla	MEA MEC			

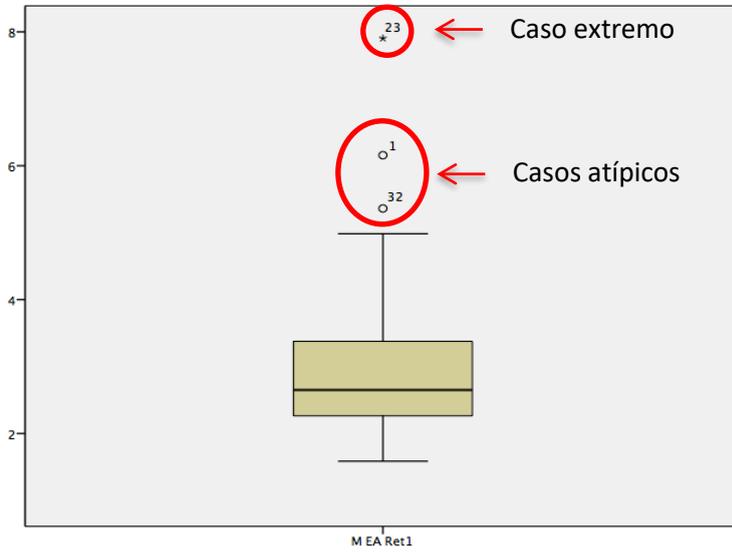


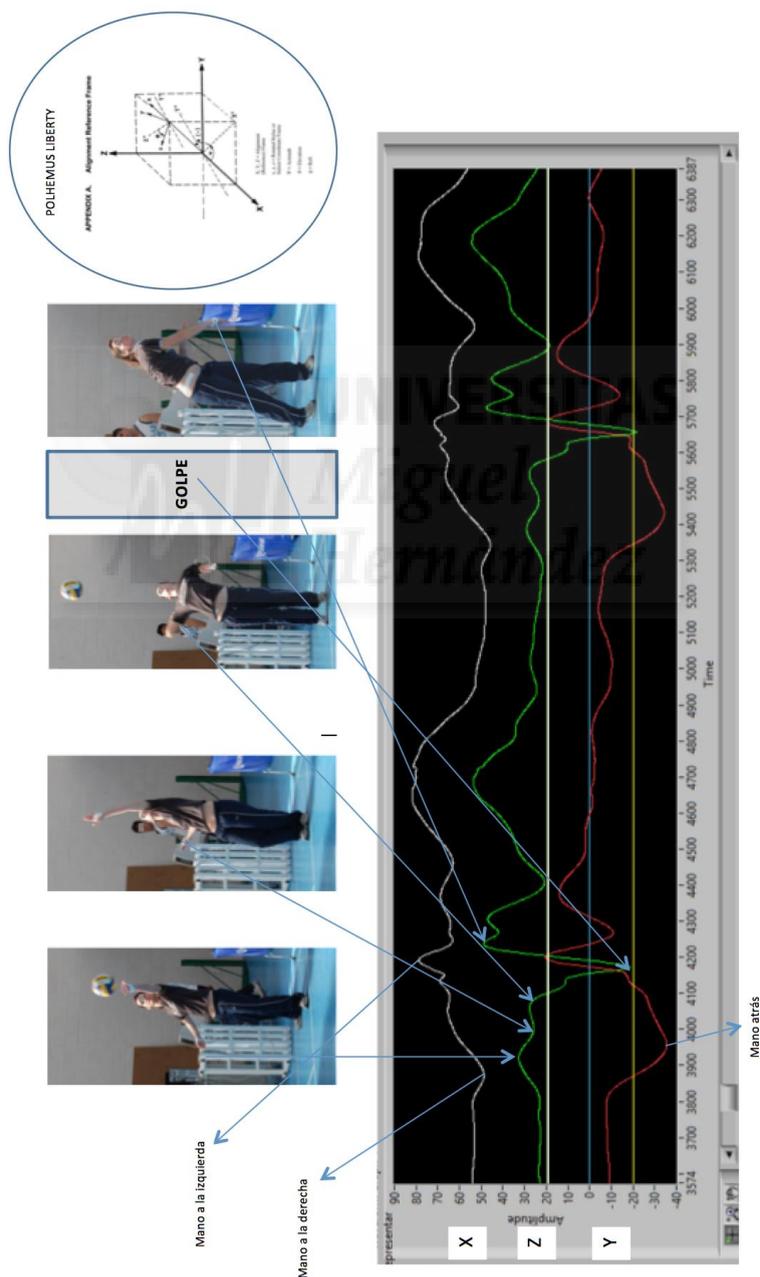
Diagrama de caja Turkey de la variable M EA Ret (módulo del error absoluto en el Retest)



## ANEXO H

### Señal del sensor de la mano ejecutora (derecha)

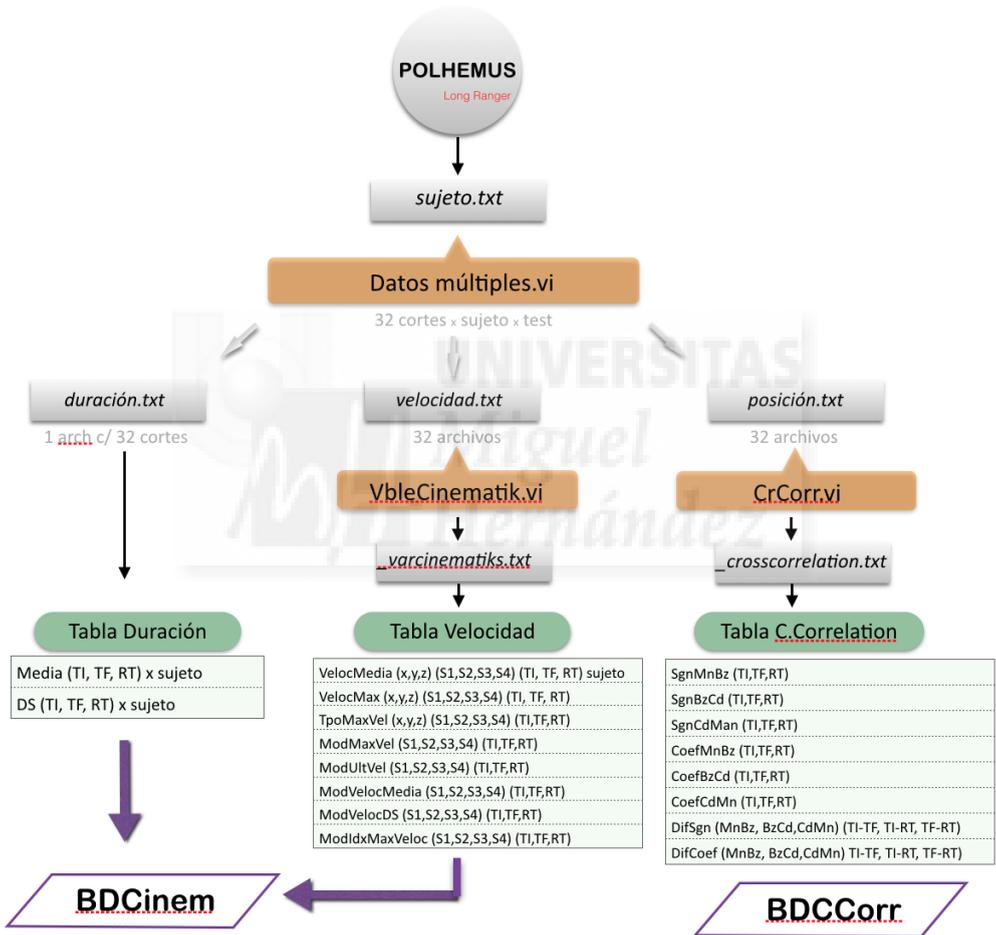
Señal registrada por el Polhemus que corresponde al sensor colocado en la mano derecha del ejecutante (sensor 1) y su relación con el movimiento del saque realizado.



## ANEXO I

### Esquema del tratamiento de las variables cinemáticas

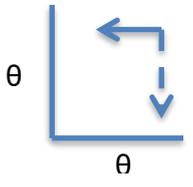
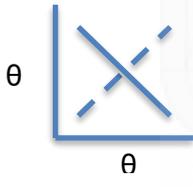
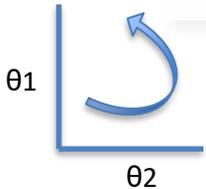
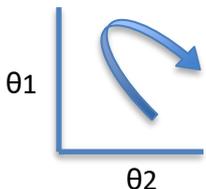
En la siguiente gráfica se resumen los procesos de tratamiento de los datos cinemáticos.



## ANEXO J

### Gráficas posición – posición

La siguiente tabla es una referencia para interpretar las gráficas posición-posición.  
(Winstein, C.; Garfinkel A. 1989)

Tipo de gráfico	Descripción	Interpretación
	<p>Ambos segmentos alcanzan su máximo y cambian simultáneamente</p>	
	<p>Trayectoria redondeada</p>	<p>Cambio de tipo de coordinación entre los segmentos</p>
	<p>Ambos segmentos alcanzan su máximo y cambian simultáneamente</p>	
	<p>Trayectoria redondeada</p>	<p>Cambio de tipo de coordinación entre los segmentos</p>

**Procedimiento de cálculo para realizar las gráficas:**

- 1) Abrir el archivo *\_posición.txt* y seleccionar el eje Y de los sensores 1, 2 y 3 (mano, brazo y cadera)
- 2) Normalizar la secuencia numérica en el rango [-1:1]
  - 2.1) Calcular el máximo() y el mínimo() de cada sensor
  - 2.2) Calcular **scale = 0.5(max – min)**
  - 2.3) Calcular **offset = min + scale**
  - 2.4) Obtener  **$Y=(X-\text{offset})/\text{scale}$**  para cada valor de variable del eje Y de los sensores 1, 2 y 3.



## ANEXO K

### Tablas de velocidad media y máxima del movimiento

En las siguientes tablas se muestra la velocidad media y máxima del movimiento por grupo en cada test, analizada en los 3 ejes (x, y, z) y a través del módulo resultante, en cada segmento en que se ubicó un sensor

#### Velocidad media del movimiento

##### Velocidad media de la mano - Sensor 1

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos veloc. media de la mano por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 1		Velocidad media (m/s)					
Grupo	Ejes/Mód.	T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.021	± .009	.020	± .012	.026	± .013
	y	-.012	± .041	-.020	± .036	-.007	± .037
	z	.173	± .022	.155	± .022	.160	± .021
	Módulo	.348	± .025	.334	± .028	.318	± .018
Consistencia	x	.034	± .015	.031	± .019	.034	± .017
	y	-.002	± .019	-.020	± .029	-.012	± .027
	z	.173	± .041	<b>.115</b>	± .078 *	<b>.133</b>	± .059 †
	Módulo	.336	± .059	<b>.273</b>	± .067 *	<b>.281</b>	± .057 ‡
Diferencial	x	.032	± .023	.037	± .026	.039	± .020
	y	.002	± .024	-.017	± .020	-.013	± .022
	z	.140	± .029	.117	± .031	.126	± .031
	Módulo	.342	± .061	.297	± .057	.306	± .064

\* p < .05 T. Inicial - T. Final \* p < .01 T. Inicial - T. Final † p < .05 T. Inicial - Retest ‡ p < .01 T. Inicial - T. Final

##### Velocidad media del brazo - Sensor 2

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos veloc. media del brazo por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 2		Velocidad media(m/s)					
Grupo	Ejes/Mód.	T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.014	± .007	.016	± .006	.019	± .006
	y	.034	± .034	.040	± .023	.045	± .014
	z	.065	± .008	.054	± .005	.055	± .008
	Módulo	.168	± .031	.152	± .033	.149	± .028
Consistencia	x	.033	± .009	.030	± .013	.031	± .011
	y	.048	± .018	.034	± .019	.045	± .022
	z	.062	± .016	.049	± .025	.053	± .018
	Módulo	.154	± .023	.145	± .026	.143	± .015
Diferencial	x	.033	± .015	.033	± .013	.035	± .015
	y	.055	± .019	.045	± .019	.046	± .022
	z	.053	± .015	.055	± .014	.054	± .019
	Módulo	.165	± .024	.153	± .031	.152	± .038

## Velocidad media de la cadera - Sensor 3

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos veloc. media de la cadera por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 3		Velocidad media(m/s)					
Grupo	Ejes/Mód.	T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.000	±.010	.007	±.007	.005	±.006
	y	.047	±.021	.047	±.014	.052	±.014
	z	.020	±.009	.013	±.008	.014	±.008
	Módulo	.069	±.022	.066	±.019	.070	±.021
Consistencia	x	.012	±.010	.017	±.006	.014	±.006
	y	.059	±.020	.051	±.015	.057	±.018
	z	.017	±.008	.017	±.010	.015	±.011
	Módulo	.080	±.019	.075	±.012	.079	±.014
Diferencial	x	.013	±.009	.019	±.010	.016	±.009
	y	.064	±.012	.055	±.012	.058	±.014
	z	.018	±.009	.020	±.013	.019	±.011
	Módulo	.086	±.015	.080	±.012	.081	±.013

## Velocidad media de la mano auxiliar - Sensor 4

**Tabla 4.** Estadísticos descriptivos veloc. media mano aux. por grupo, eje y módulo para c/test

Sensor 4		Velocidad media(m/s)					
Grupo	Ejes/Mód.	T. Inicial		T. Final		Retest	
		Media	±SD	Media	±SD	Media	±SD
Control	x	.025	±.024	.037	±.013	<b>.040</b>	±.016 †
	y	.035	±.025	.031	±.016	.034	±.017
	z	.101	±.040	.084	±.036	.078	±.040
	Módulo	.287	±.056	.302	±.042	.309	±.050
Consistencia	x	.056	±.010	.055	±.017	.052	±.016
	y	.034	±.027	.026	±.025	.033	±.032
	z	.113	±.040	.103	±.044	.106	±.043
	Módulo	.289	±.029	.292	±.049	.301	±.049
Diferencial	x	.046	±.023	.049	±.020	.046	±.018
	y	.053	±.011	.042	±.020	.045	±.020
	z	.086	±.044	.090	±.054	.086	±.060
	Módulo	.309	±.018	.303	±.027	.313	±.026

† p &lt; .05 T. Inicial - Retest

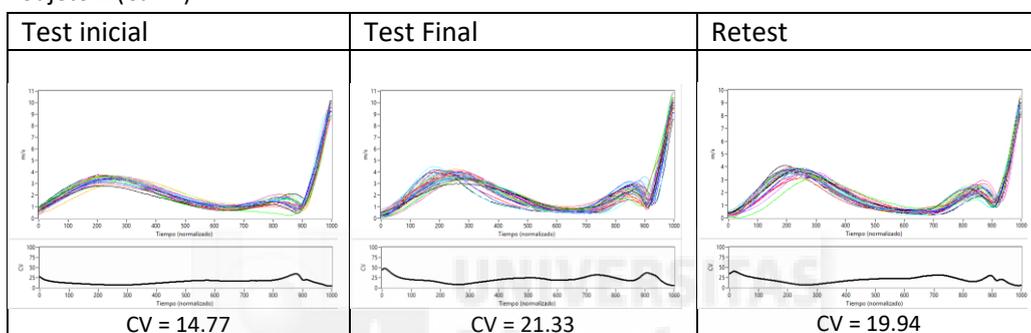
## ANEXO L

### Señales de velocidad de la mano ejecutora

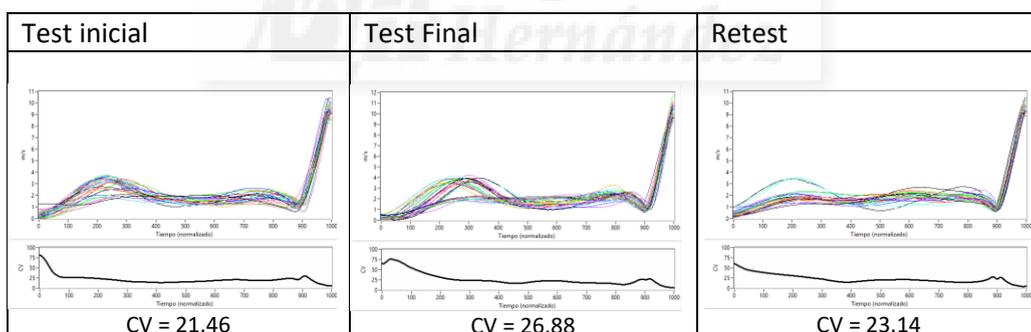
Las figuras que se muestran a continuación corresponden a las señales de velocidad de todos los ensayos de cada uno de los sujetos de los grupos de entrenamiento en los distintos test.

#### Grupo de Control

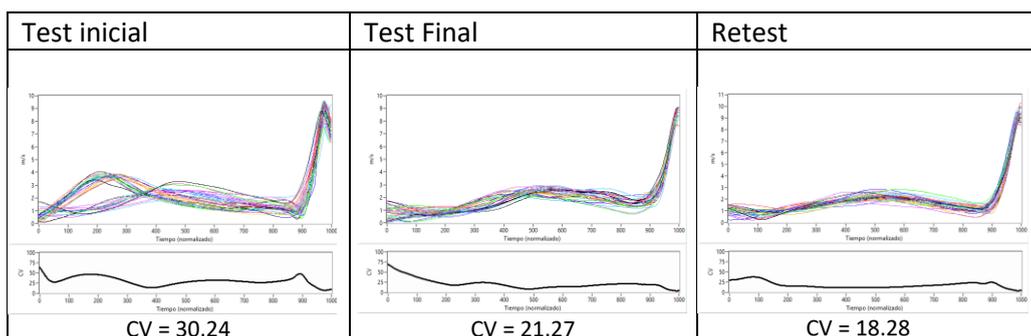
##### Sujeto 1 (Carr\*)



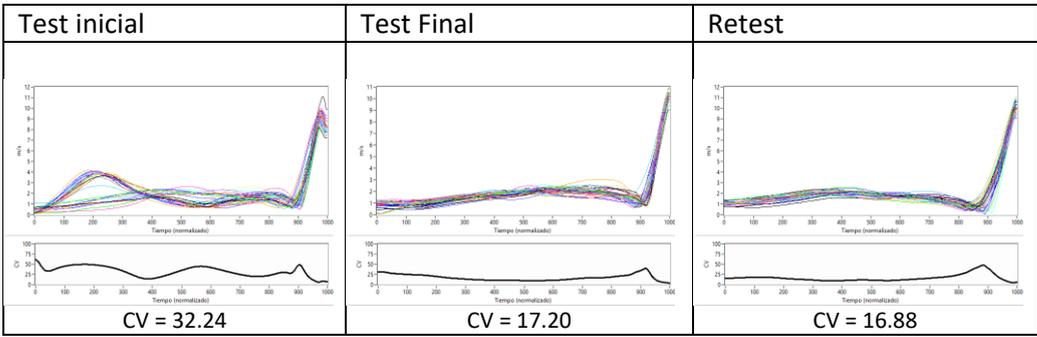
##### Sujeto 2 (Col\*)



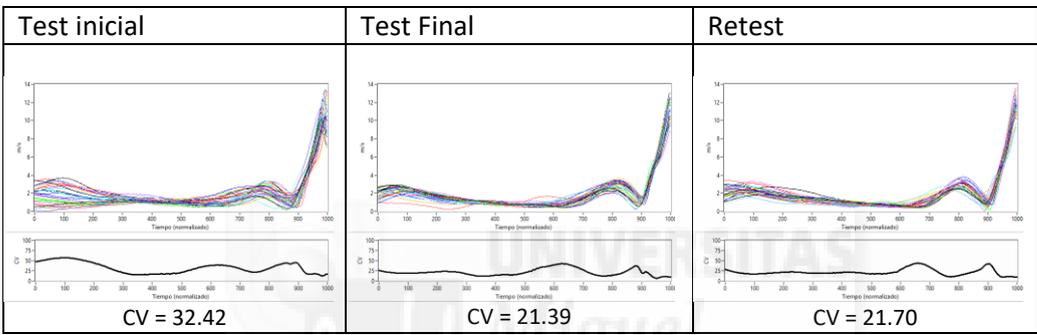
##### Sujeto 3 (Gar\*.)



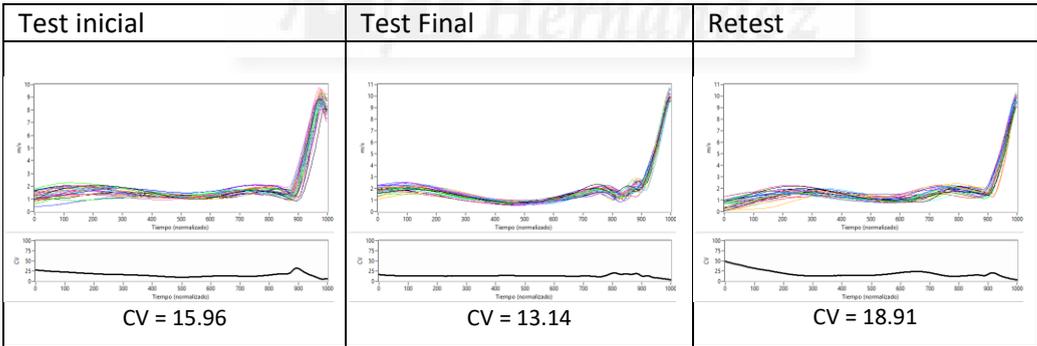
Sujeto 4 (Llo\*)



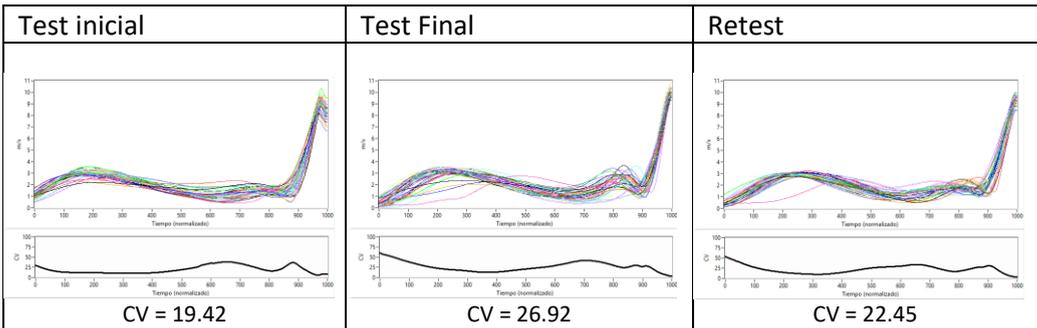
Sujeto 5 (Lóp\*)



Sujeto 6 (Req\*)

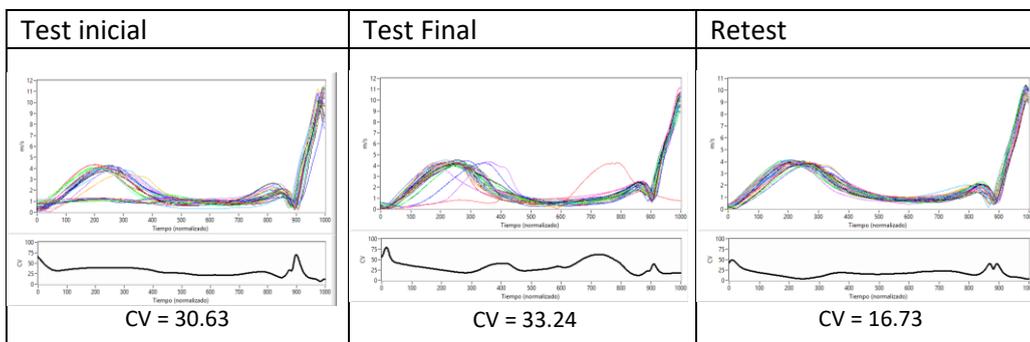


Sujeto 7 (Sar\*)

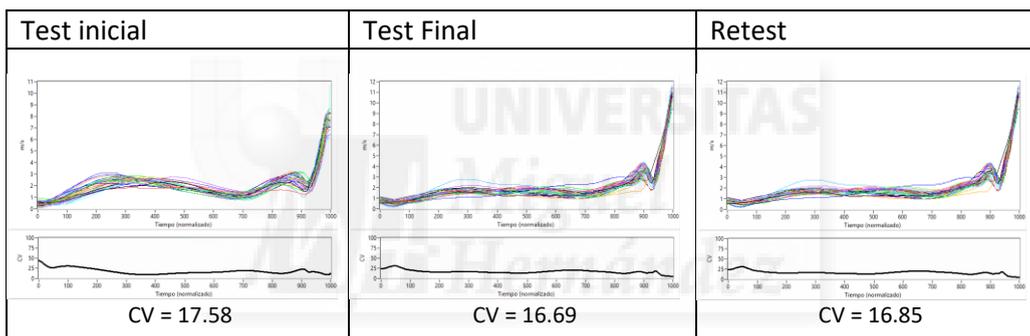


## Grupo Entrenamiento en Consistencia

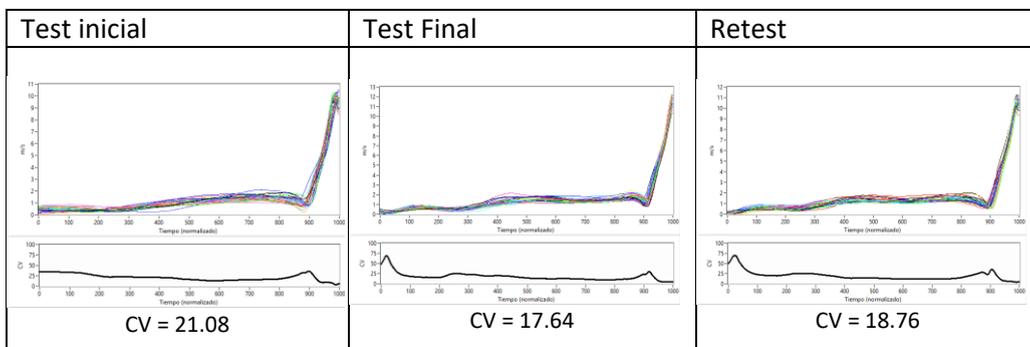
### Sujeto 1 (Ball\*)



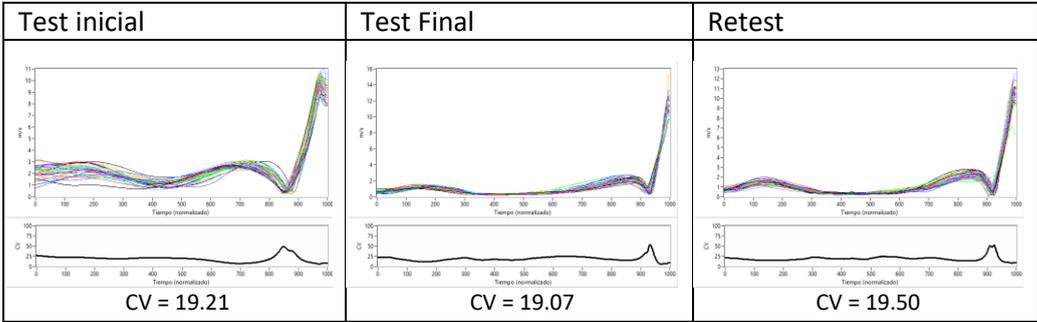
### Sujeto 2 (Bel\*)



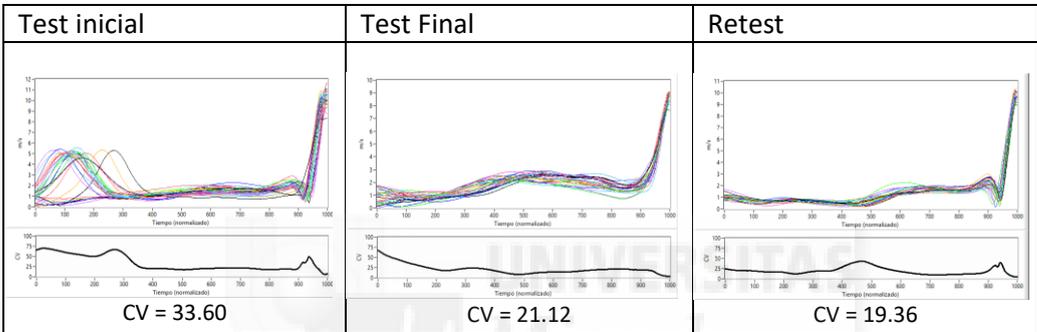
### Sujeto 3 (Bel\*)



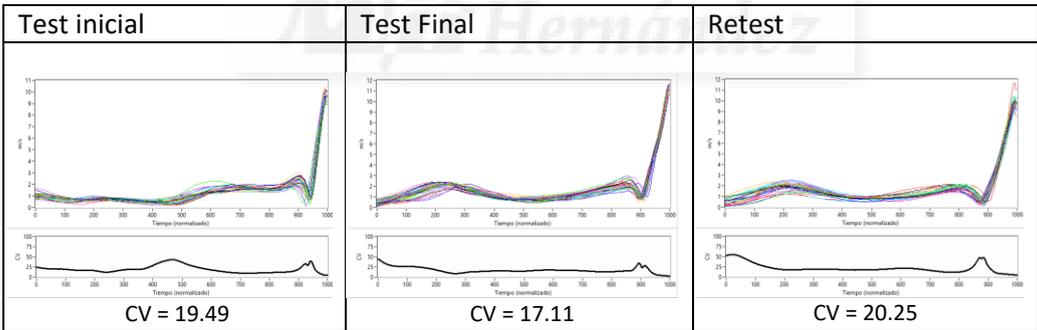
Sujeto 4 (Garr\*)



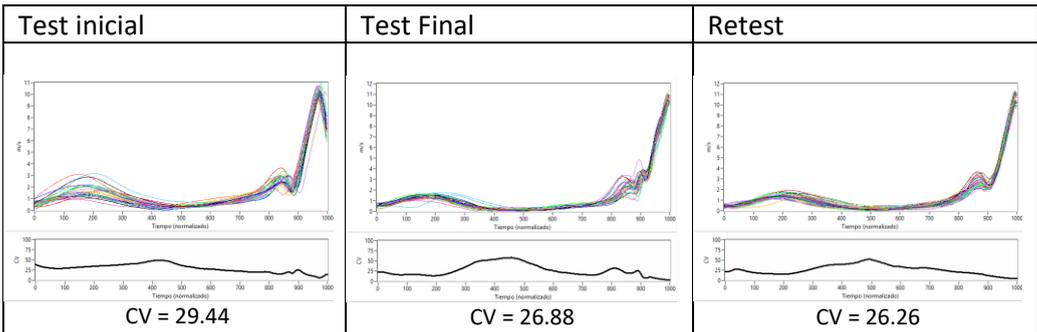
Sujeto 5 (Her\*)



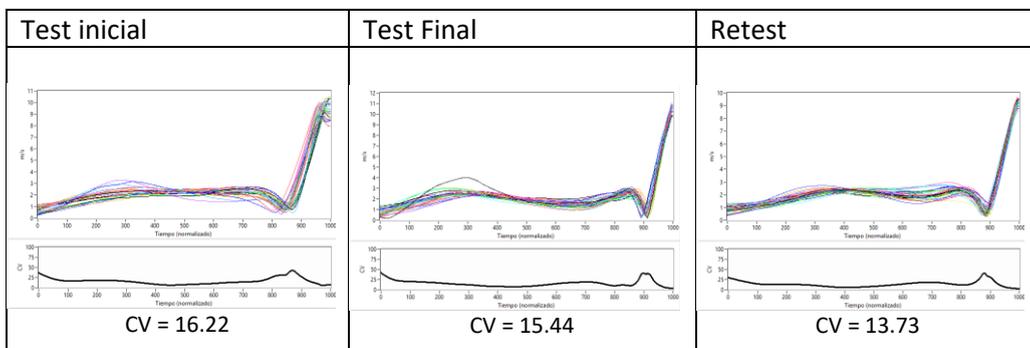
Sujeto 6 (Ini\*)



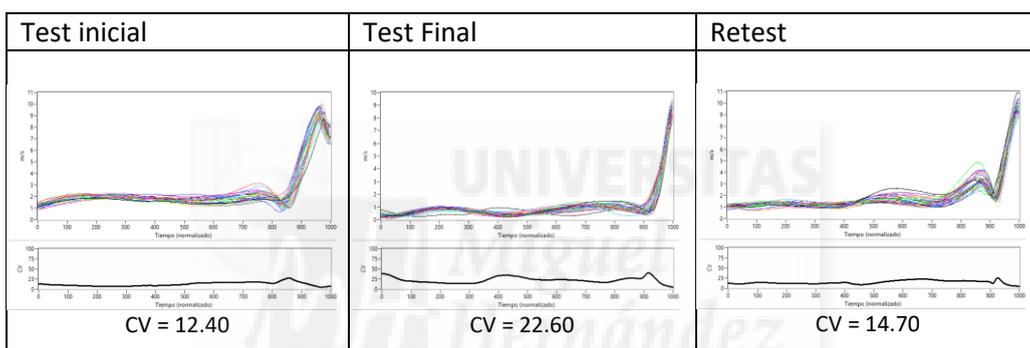
Sujeto 7 (Lóp\*)



## Sujeto 8 (Mol\*)

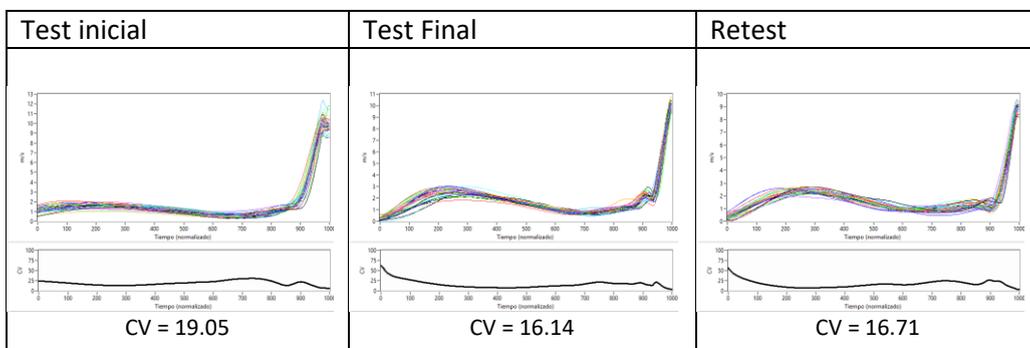


## Sujeto 9 (Pér\*)

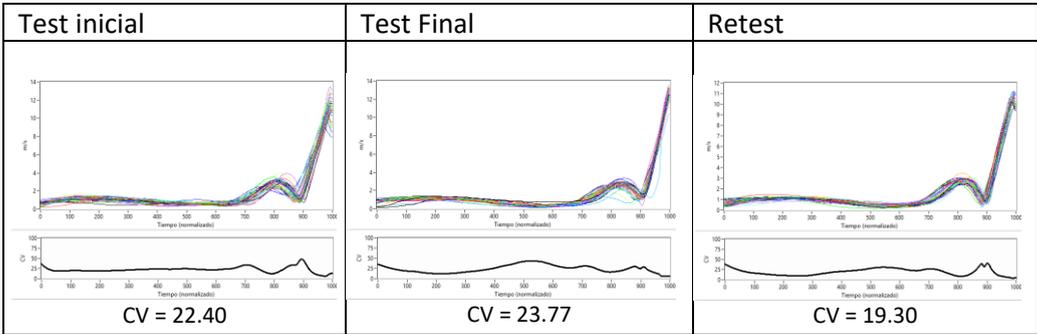


## Grupo Entrenamiento Diferencial

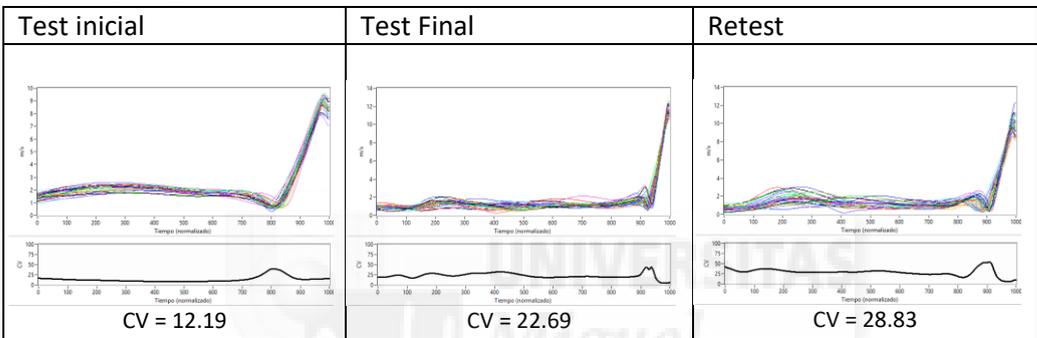
## Sujeto 1 (Ben\*)



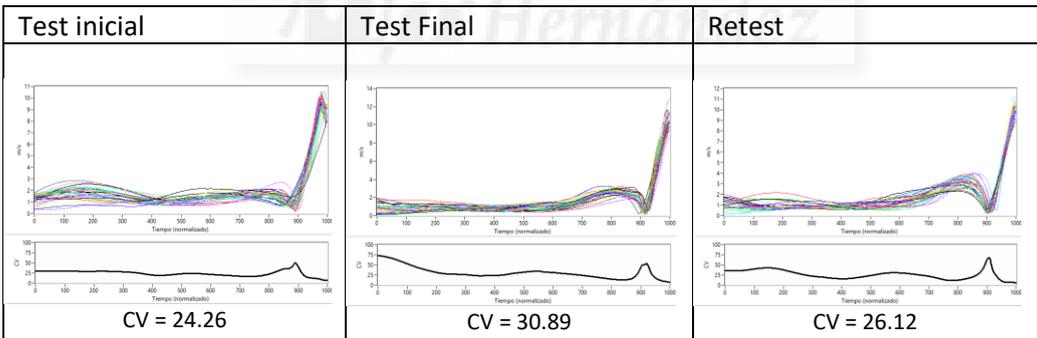
Sujeto 2 (Cat\*)



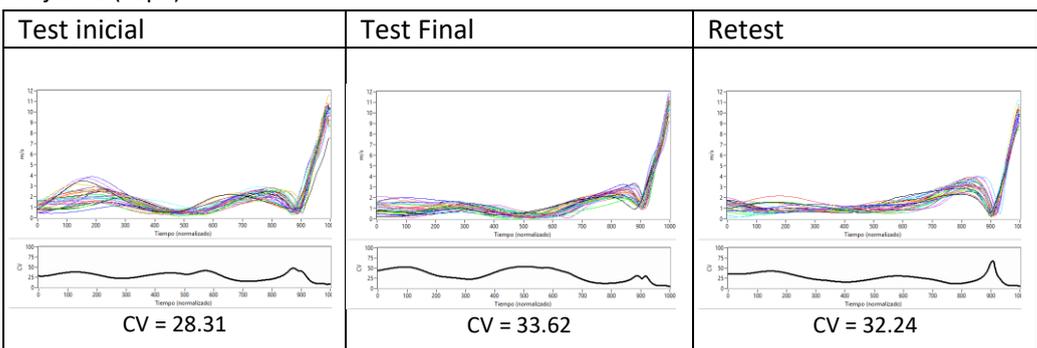
Sujeto 3 (Gar\*)



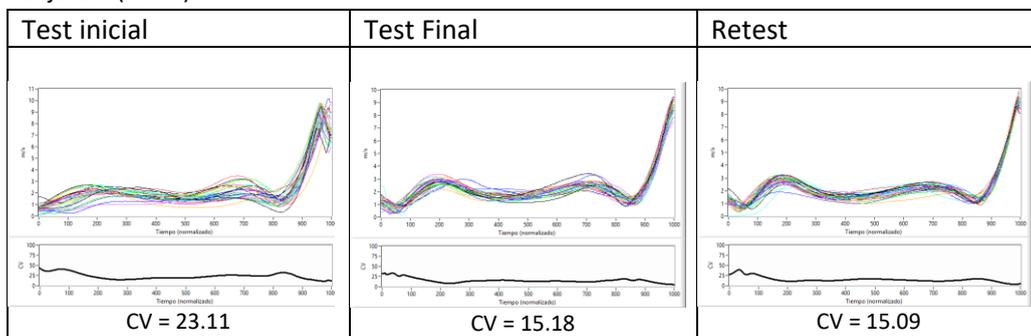
Sujeto 4 (Lóp\*)



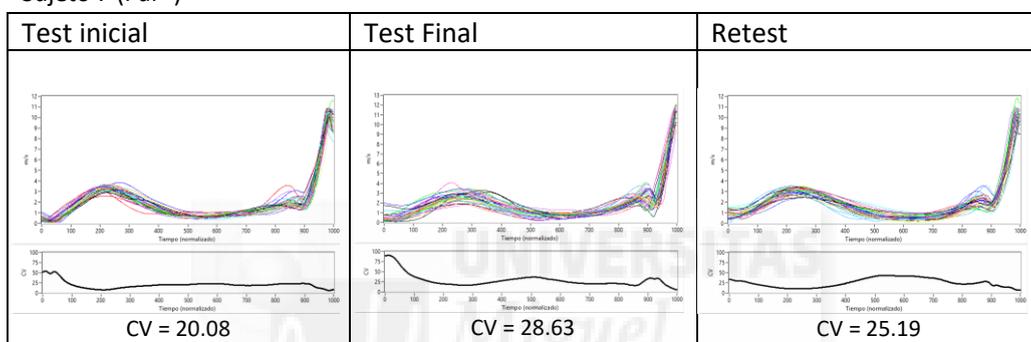
Sujeto 5 (Lóp\*)



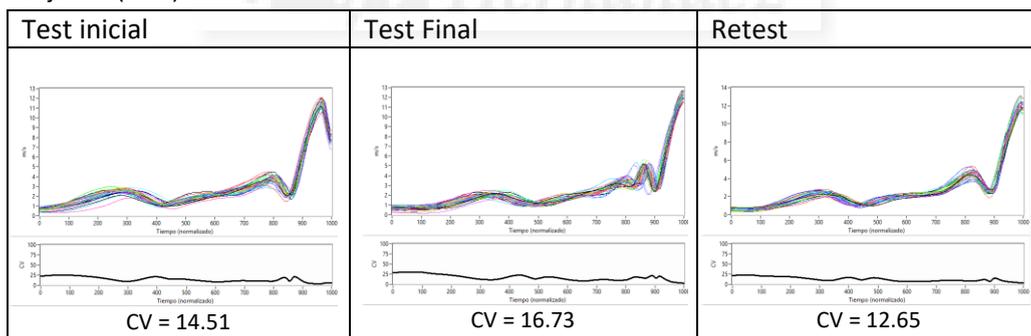
## Sujeto 6 (Mar\*)



## Sujeto 7 (Par\*)



## Sujeto 8 (Val\*)





## Grupo entrenamiento en consistencia

VARIABLES		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Velocidad	TI	<b>-.755*</b>	.579	.069	-.446	.106	.415	.279	.355	<b>.739*</b>	.258	-.517	-.101
	TF	-.516	.649	-.062	.434	.313	.479	.202	.357	-.235	-.346	<b>.755*</b>	.377
	RT	-.310	.617	.430	.141	.570	.162	.099	.135	.436	.032	.077	-.008
2 Módulo error absoluto	TI		-.212	.399	.584	-.160	-.380	-.544	-.535	-.331	.066	.193	.179
	TF		-.518	-.052	-.145	.350	-.528	-.413	-.418	.056	.069	-.251	.167
	RT		.071	.293	.567	.515	-.300	<b>-.726*</b>	<b>-.725*</b>	-.118	.297	.440	.348
3 Veloc. máx. mano	TI			.647	.292	.002	.153	.127	.149	.663	.489	-.005	.192
	TF			.625	<b>.764*</b>	.576	.360	.062	.214	-.387	-.453	.630	.304
	RT			<b>.671*</b>	.045	<b>.716*</b>	.660	-.233	-.007	<b>.737*</b>	-.149	.173	.522
4 Veloc. máx. brazo	TI				<b>.740*</b>	-.467	-.379	-.306	-.360	.207	.634	-.060	.089
	TF				.568	.547	.311	-.043	.115	-.007	-.474	.229	-.067
	RT				.330	.518	.246	-.434	-.307	.588	.067	.365	.549
5 Veloc. máx. cadera	TI					<b>-.667*</b>	<b>-.759*</b>	-.502	-.643	-.333	.478	.387	.018
	TF					.573	-.006	-.515	-.342	-.665	-.343	.410	.038
	RT					.556	-.614	<b>-.712*</b>	<b>-.806**</b>	.027	.111	<b>.799**</b>	.378
6 Veloc. máx. mano aux.	TI						<b>.882**</b>	.479	<b>.670*</b>	.345	-.421	.124	.515
	TF						.019	-.077	-.044	-.204	-.434	.413	.630
	RT						.014	-.522	-.453	.401	-.011	.552	.390
7 Desfase mano-brazo	TI							.631	<b>.825**</b>	.529	-.308	-.110	.189
	TF							.571	<b>.843**</b>	.573	-.424	.451	-.163
	RT							.277	.540	.475	-.128	-.478	.290
8 Desfase brazo-cadera	TI								<b>.959**</b>	.336	-.386	-.110	-.143
	TF								<b>.923**</b>	.563	-.245	.078	.296
	RT								<b>.958**</b>	-.212	-.216	<b>-.691*</b>	-.403
9 Desfase mano-cadera	TI									.439	-.393	-.122	-.035
	TF									.637	-.358	.263	.117
	RT									-.045	-.228	<b>-.747*</b>	-.266
10 Coeficiente Variación	TI										-.064	-.591	-.013
	TF										.142	-.203	-.113
	RT										-.493	.271	.693
11 Fase mano-brazo	TI											.162	.247
	TF											-.621	-.007
	RT											-.364	-.382
12 Fase brazo-cadera	TI												.451
	TF												.276
	RT												.410
13 Fase mano-cadera	TI												1
	TF												1
	RT												1





**B**

**Referencias  
Bibliográficas**



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### A

---

- Albrecht, S., Janssen, D., Quarz, E., Newell, K. M., & Schöllhorn, W. I. (2014). Individuality of movements in music—Finger and body movements during playing of the flute. *Human movement science*, 35, 131-144.
- Amblard, B., Assaiante, C., Lekhel, H., & Marchand, A. R. (1994). A statistical approach to sensorimotor strategies: conjugate cross-correlations. *Journal of Motor Behavior*, 26(2), 103-112.

### B

---

- Bailasha, N., & Akpata, D. (2001). Effectiveness of serves used during 12th feminine African Volleyball Clubs Championship. *Journal of international council for health, Physic Education, Recreation, Sport and Dance*, 38(1), 46-49.
- Balagué, N., & Torrents, C. (2011). *Complejidad y Deporte*. Barcelona: INDE.
- Beckmann, H., & Schöllhorn, W. I. (2003). Differential learning in shot put. In W. I. Schöllhorn, C. Bohn, J. M. Jäger, H. Schaper & M. Alichmann (Eds.), *1st European Workshop on Movement Science. Book of Abstracts* (p. 68). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Beckmann, H., Winkel, C., & Schöllhorn, W. I. (2010). Optimal range of variation in hockey technique training. *International Journal of Sports Psychology*, 41(4), 5-10.
- Benko, U., & Lindinger, S. (2007). Differential coordination and speed training for tennis footwork. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 41, 10-11.
- Bernstein, N., (1967). *The coordination and regulation of movements*. Pergamon, Oxford.
- Bertucci, B. (1979). The overhand floater serve. *Championship Volleyball by the Experts*, 45-49.
- Burke, R. E. (2007). Sir Charles Sherrington's the integrative action of the nervous system: a centenary appreciation. *Brain*, 130(Pt 4), 887-894. doi: 10.1093/brain/awm022.

Button, C., Davids, K., & Schöllhorn, W. (2006). Coordination profiling of movement systems. In K. Davids., S. Bennett y K. Newell (Eds.), *Movement System Variability* (pp. 133-152) Champaign, IL: Human Kinetics.

Button, C., Seifert, L., O'Donovan, D., & Davids, K. (2013). 16 Variability in neurobiological systems and training. *Complex Systems in Sport*, 7, 277

## C

---

Caballero, C., Luis, V., & Sabido, R. (2012). Efecto de diferentes estrategias de aprendizaje sobre el rendimiento y la cinemática en el lanzamiento del armado clásico en balonmano. *European Journal of Human Movement*, (28), 83-100.

Capra, F. (1998). *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.

Chow, J. Y., Davids, K., Hristovski, R., Araújo, D., & Passos, P. (2011). Nonlinear pedagogy: Learning design for self-organizing neurobiological systems. *New Ideas in Psychology*, 29(2), 189-200.

Coleman, S. (1997). A three-dimensional kinematic analysis of the volleyball jump serve. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*, 1(1).

Coleman, S., Benham, A. S. & Northcott, S. R., (1993). A three-dimensional cinematographical analysis of the volleyball spike. *Journal of sports sciences*, 1993, 11(4), 295-302.

## D

---

Davids, K., Bennett, S., Handford, C., & Jones, B. (1999). Acquiring coordination in self-paced, extrinsic timing tasks: a constraints-led perspective. *International Journal of Sport Psychology*, 30(4), 437-461.

Davids, K., Button, C., & Bennet, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition. A Constraints-Led Approach*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Davids, K., Glazier, P., Araújo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems. *Sports medicine*, 33(4), 245-260.

Derrick, T. R., & Thomas, J. M. (2004). Time series analysis: The cross-correlation function. *Innovative analysis of human movement*, 189-205.

Domjan, M. (2010). *Principios de aprendizaje y conducta*. CENGAGE Learning.

---

## E - F

---

- Edwards, C. A. L., & Hodges, N. J. (2012). Acquiring a novel coordination movement with non-task goal related variability. *The Open Sports Sciences Journal*, 5, 1-M7.
- Fialho, J. V., Benda, R. N., & Ugrinowitsch, H. (2006). The contextual interference effect in a serve skill acquisition with experienced volleyball players. *Journal of Human Movement Studies*, 50, 65-78.
- FIVB (2011)a. Manual para entrenadores FIVB
- FIVB (2011)b. FIVB top volley. Technical departament.
- FIVB (2013) Reglamento de voleibol.
- Frank, T. D., Michelbrink, M., Beckmann, H., & Schöllhorn, W. I. (2008). A quantitative dynamical systems approach to differential learning: self-organization principle and order parameter equations. *Biological cybernetics*, 98(1), 19-31.

## G

---

- García, J. A., Moreno, F. J., Luis del Campo, V., & Reina, R. (2005). La organización de la práctica en las clases de educación física: el papel de la interferencia contextual y de la distribución de la práctica. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 8, 19-23.
- García-Herrero, J. A., Sabido, R., Barbado, D., Martínez, I., & Moreno, F. J. (2016). The load of practice variability must be regulated in relation with learner expertise. *International Journal of Sport Psychology*, 47(6), 559-570.
- García-Tormo, J. V., Castán, J. C. R., Valladares, J. A., & Rábago, J. C. M. (2006). Análisis del saque de voleibol en categoría juvenil femenina en función del nivel de riesgo asumido y su eficacia. *European Journal of Human Movement*, 16, 99-121.
- Gil, A., Moreno, M. P., Moreno, A., García-González, L., & Del Villar, F. (2010). Caracterización del saque de voleibol en categorías de formación atendiendo a la función del juego. *Revista Internacional de Deportes Colectivos*, 6, 37-61.
- Glazier, P., Davids, K., & Bartlett, R. (2003). Dynamical systems theory: A relevant framework for performance-oriented sports biomechanics research. *Sportscience*, 7.

---

## H - K

---

- Hernández, H., Urbán, T., Morón, H., Reina, R., & Moreno, F. J. (2014). Efecto de la práctica variable sobre la precisión del tiro libre en baloncesto en jóvenes jugadores. *Kronos*, 13(1).
- Hossner, E. J., Käch, B., & Enz, J. (2016). On the optimal degree of fluctuations in practice for motor learning. *Human Movement Science*, 47, 231-239.
- Jaitner, T., Kretschmar, D., & Hellstern, W. (2003). Changes of movement patterns and hurdle performance following traditional and differential hurdle training. In *8th Annual Congress of ECSS, Salzburg* (pp. 9-12).
- Jarus, T., & Goverover, Y. (1999). Effects of contextual interference and age on acquisition, retention, and transfer of motor skill. *Perceptual and motor skills*, 88(2), 437-447.
- Kandel, E. R. & Marengo, E. (2007). *En busca de la memoria*. Katz.
- Kelso, J. S. (1997). *Dynamic Patterns: The self Organization of brains and behaviour*. Cambridge, MA. MIT Press.
- Künzell, S., & Hossner, E. J. (2012). Differenzielles Lehren und Lernen: eine Kritik. *Sportwissenschaft*, 42(2), 83-95.

---

## L

---

- Lattwein, M., Henz, D. & Schöllhorn, W. I. (2014, july). Differential training as an intervention strategy to prevent choking under pressure in basketball freethrow, in Book of Abstract of the 19th Annual Congress of the European College of Sport Science 2nd-5th July 2014, Amsterdam, eds De Haan A., De Ruiter C. J., Tsolakidis E., editors. (Utrecht: Digital Printing Partners; ), 610.
- Lees, A. (2002). Technique analysis in sports: a critical review. *Journal of Sports Sciences*, 20 (10), 813-828.
- Lozano, C., Calvo, R., Cervelló, E., & Ureña, A. (2003). Influencia de la dirección del saque en el rendimiento de la recepción de un equipo femenino de voleibol de alto nivel. *RendimientoDeportivo.com*, 5.

---

## M - O

---

- McDonald, P. V., Van Emmerik, R. E. A., & Newell, K. M. (1989). The effects of practice on limb kinematics in a throwing task. *Journal of motor behavior*, 21(3), 245-264.
- Menayo, R., Moreno, F. J., Reina, R., & Fuentes, J. P. (2009). Aplicación de un sistema automatizado para el aprendizaje y el entrenamiento del tenis en condiciones de interferencia contextual. *Apunts. Educación física y deportes*, 96, 27-33.
- Moreno, F. J., García, J. A., Reina, R., Luis del Campo, V., Ruiz, A., & Díaz, I. (2006). La organización de la práctica y su influencia en el aprendizaje escolar de tres habilidades de lanzamiento y recepción. *Kronos. La Revista Universitaria de la Educación Física y el Deporte*, 10, 25-32.
- Moreno, F. J. & Luis del Campo, V. (2004). El efecto de la organización de la práctica en el aprendizaje de las habilidades motrices y deportivas. *Revista de CC. Actividad Física y Deporte*, 22, 37-44.
- Moreno, F. J., & Ordoño, E. M. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *European Journal of Human Movement*, 22, 1-19.
- Moreno, F. J., & Ordoño, E. M. (2015). Variability and practice load in motor learning. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 11(39), 62-78.
- Moreno, F. J., Peláez, M., Urbán, T., & Reina, R. (2011). Different levels of variability versus specificity of practice applied to increase the performance under static task constraints. In *16th Annual European Congress of Sport Sciences Liverpool*.
- Moxley, S. E. (1979). Schema: The variability of practice hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, 11(1), 65-70.
- Mullineaux, D. R., Barlett, R., & Bennett, S. (2001). Research design and statistics in biomechanics and motor control. *Journal of sports sciences*, 19(10), 739-760.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. *Motor development in children: Aspects of coordination and control*, 34, 341-360.
- Oña, A., Martínez, M., Moreno, F. J., & Ruiz, L. M. (1999). *Control y aprendizaje motor*. Madrid: Síntesis.

---

**P**

---

- Palao, J. M., Santos, J. A., & Ureña, A. (2004). Efecto del tipo y eficacia del saque sobre el bloqueo y el rendimiento del equipo en defensa. *Rendimiento Deportivo. com*, 8.
- Pedraja, M. (2001). El conductismo de Edward C. Tolman: un cordero con piel de lobo. *Revista de Historia de la Psicología*, 22(2), 135-170.
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Ediciones Morata.
- Putnam, C. A. (1991). A segment interaction analysis of proximal-to-distal sequential segment motion patterns. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(1), 130-144.

---

**R**

---

- Reeser, J. C., Fleisig, G. S., Bolt, B., & Ruan, M. (2010). Upper limb biomechanics during the volleyball serve and spike. *Sports health*, 2(5), 368-374.
- Reynoso, S. R., Sabido, R., Reina, R., & Moreno, F. J. (2013). Aprendizaje diferencial aplicado al saque de voleibol en deportistas noveles Descargar. *Apunts. Educación física y deportes*, 4(114), 45-52.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 918-920.
- Römer, J., Schöllhorn, W. I., Jaitner, T., & Preiss, R. (2003). Differenzielles Lernen bei der Aufschlagannahme im Volleyball. *Messplätze, Messplatztraining, Motorisches Lernen*, 129-133.
- Ruiz Pérez, L. M. (1994). *Deporte y aprendizaje: procesos de adquisición y desarrollo de habilidades*. Visor.
- Ruiz Pérez, L. M. (1995). *Competencia motriz: elementos para comprender el aprendizaje motor en educación física escolar*. Gymnos.
- Ruiz Pérez, L. M. (1998). *La variabilidad en el aprendizaje deportivo. Lecturas: educación física y deportes*. Revista digital.

---

**S**

---

- Santojanni, F., & Striano, M. (2006). *Modelos teóricos y metodológicos de la enseñanza*. Siglo Xxi Ediciones.
- Savelsbergh, G. J., Kamper, W. J., Rabijs, J., De Koning, J. J., & Schöllhorn, W. (2010). A new method to learn to start in speed skating: A differential learning approach. *International Journal of Sport Psychology*, 41(4), 415.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological review*, 82(4), 225.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2011). *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. (5th ed.) Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schöllhorn, W. (2000). Applications of system dynamic principles to technique and strength training. *Acta academic Olympiquae Estoniae*, 8, 67-85.
- Schöllhorn, W., Beckmann, H., & Davids, K. (2010). Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. *Medicina (Kaunas)*, 46(6), 365-373.
- Schöllhorn, W., Beckmann, H., Janssen, D., & Drepper, J. (2010). Stochastic perturbations in athletics field events enhance skill acquisition. *Motor Learning in Practice: A Constraints-Led Approach*, 69.
- Schöllhorn, W., Beckmann, H., Michelbrink, M., Sechelmann, M., Trockel, M., & Davids, K. (2006). Does noise provide a basis for the unification of motor learning theories?. *International journal of sport psychology*, 37(2/3), 186.
- Schöllhorn, W., Hegen, P. & Davids, K. (2012). The nonlinear nature of learning-a differential learning approach. *The Open Sports Sciences Journal*, 5(1).
- Schöllhorn, W., Mayer-Kress, G., Newell, K. M., & Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human movement science*, 28(3), 319-333.
- Schöllhorn, W., Michelbrink, M., Welminski, D., & Davids, D. (2009). Increasing stochastic perturbations enhance skill acquisition and learning of complex sport movements. En D. Araujo, H. Ripoll y M. Raab (Eds.), *Perspectives on cognition and action in sport* (pp. 59-73). Hauppauge, NY: Nova Science.
- Schöllhorn, W. I., Paschke, M., & Beckmann, H. (2005). Differenzielles Training im Volleyball beim Erlernen von zwei Techniken. *Volleyball*, 97-105.

- Schönherr, T., & Schöllhorn, W. (2003). Differential learning in basketball. In *European workshop on movement science, Mechanics, and Physiology, Münster (Alemania)* (pp. 22-24).
- Serrien, B., Ooijen, J., Goossens, M., & Baeyens, J-P. (2016a). A Motion Analysis in the Volleyball Spike – Part 1: Coordination and Performance Variability. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 4(4), 70-82, 2016 DOI: 10.13189/saj.2016.040403.
- Serrien, B., Ooijen, J., Goossens, M., & Baeyens, J-P. (2016b). A Motion Analysis in the Volleyball Spike – Part 2: Coordination and Performance Variability. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 4(4), 83-90. DOI: 10.13189/saj.2016.040404.
- Smith, P. J. K. & Penn, G. L. (1999). The effect of number of practice trials on the contextual interference effect for skill variations with similar relative timing characteristics. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 21, S-101
- Strebel, G. N. (2013, November 13). Sportschau Schöllhorn. [Archivo de video]. Recuperado de <https://youtu.be/OSMiKpE0V5k>

## T

---

- Temprado, J., Della-Grasta, M., Farrell, M., & Laurent, M. (1997). A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*, 16(5), 653-676.
- Torrents, C. (2005). La teoría de los sistemas dinámicos y el entrenamiento deportivo. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. España.
- Torrents, C., & Balagué, N. (2007). Repercussions de la teoria dels sistemes dinàmics en l'estudi de la motricitat humana. *Apunts. Educació física i esports*, 1(87), 7-13.
- Torrents, C., Balagué, N., Perl, J., & Schöllhorn, W. (2007). Linear and nonlinear analysis of the traditional and differential strength training. *Education Physical Training Sport*, 3(66), 39.
- Trockel, M. & Schöllhorn, W. (2003). Differential training in soccer. *European workshop on movement science Mechanics and Physiology, Münster (Alemania)*.

---

## U - Z

---

- Urban, T., Hernández, H., & Moreno, F. J. (2012). Variabilidad cinemática en relación con el rendimiento en el saque en jóvenes tenistas. *European Journal of Human Movement*, (29), 49-60.
- Ureña Espa, A. (2007). Artículos técnicos de voleibol. RFEVB.
- van Beers, R. J. (2009). Motor learning is optimally tuned to the properties of motor noise. *Neuron*, 63(3), 406-417.
- Vereijken, B., Emmerik, R. E. V., Whiting, H. T. A., & Newell, K. M. (1992). Free (z) ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of motor behavior*, 24(1), 133-142.
- Wagner, H. & Müller, E. (2008). The effects of differential and variable training on the quality parameters of and handball throw. *Sports Biomechanics*, 7, 54-71.
- Wagner, H., Pfusterschmied, J., Tilp, M., Landlinger, J., Von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2014). Upper-body kinematics in team-handball throw, tennis serve, and volleyball spike. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(2), 345-354.
- Wallace, S. (1997). Dynamic pattern perspective of rhythmic movement: A tutorial. *Advances in Motor Learning and Control*, 155-193.
- Winstein, C. J., & Garfinkel, A. (1989). Qualitative dynamics of disordered human locomotion: a preliminary investigation. *Journal of motor behavior*, 21(4), 373-391.
- Wulf, G., & Shea, C. H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic bulletin & review*, 9(2), 185-211.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. A. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 18(2), 403.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. S. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(5), 1454.
- Zuriaga, D. S. (2010). *Estadística aplicada a la fisioterapia, las ciencias del deporte y la biomecánica*. CEU Ediciones.