

# Modelo Biomecánico de la técnica individual del servicio de tenis

---

C. L. DE SUBIJANA HERNÁNDEZ, E. NAVARRO CABELLO.  
Instituto Nacional de Educación Física.  
Universidad Politécnica de Madrid.

## Resumen

*El servicio es un golpe fundamental en el resultado de un partido. Se han analizado biomecánicamente los primeros servicios de jugadoras de alto nivel, mediante la fotogrametría 3D. El análisis de la cadena cinética de ambas muestran correlaciones significativas en la transferencia de energía entre los diferentes segmentos. Los modelos biomecánicos hallados muestran matemáticamente como los servicios de ambas jugadoras siguen un patrón determinado, pudiéndose predecir los servicios «buenos» y «malos de las jugadoras. Ambos modelos son diferentes entre sí.*

**Palabras clave:** biomecánica, servicio, tenis, modelo.

## Introducción

Según Elliot, (1986), el servicio puede ser un golpe decisivo en el resultado final de un partido de tenis. Brody, (2003), indica que una alta velocidad en el primer servicio conjugado con un buen porcentaje, aumentaba considerablemente las probabilidades de ganar un partido. La velocidad del servicio ha ido incrementándose de forma notable, (Nofall, 1999), hasta llegar a los 249,4 km/h logrado por Andy Roddick en el 2004. Así mismo, Haake et al, (2000), en Elliot, Reid y Crespo, (2004), muestran cómo cuanto más rápido era el servicio más probable era que el resto del jugador contrario fuera erróneo. Los estudios biomecánicos del servicio de tenis, han evolucionado en cuanto a los parámetros registrados, pasando de velocidades lineales, a velocidades angulares y momentos angulares de los diferentes segmentos. No existen estudios que consideren la energía cinética como parámetro biomecánico. Las muestras varían de

jugadores de club y nivel universitario, ha jugadores profesionales. De los estudios realizados hasta la fecha, destacar el de Fleisig et al, (2003), ya que además de obtener una muestra de jugadores de alto nivel, expone resultados explicando la cadena cinética hallada considerando la flexión del tren inferior, hecho casi ignorado en los anteriores estudios. Dado que resulta fundamental el hecho de poder analizar el gesto técnico completo de un jugador, es decir considerar los miembros inferiores, pelvis, tronco y tórax, y la raqueta como dentro de un todo, que es el jugador. Es por ello, que el objeto de este estudio es hallar el modelo de la técnica individual del servicio de tenis, y con ello demostrar que cada jugador tiene su propio patrón.

## Métodos

La filmación se realizó el 5 de febrero de 2002 en las instalaciones del Consejo Superior de Deportes en Madrid. Se registraron 30 servicios planos de dos jugadoras de Alto Nivel, en dicha semana su ranking mundial fue de 65 y 42 del mundo respectivamente. Para este estudio se han tomado 14 servicios de la jugadora GL, y 12 de VR considerados «buenos» por aterrizar en la zona diana marcada. Una jugadora era zurda y la otra

---

## Correspondencia:

C.L. de Subijana Hernández, E. Navarro Cabello  
Instituto Nacional de Educación Física.  
Universidad Politécnica de Madrid, España.  
E-mails: sagucha@teleline.es, enavarro@inef.upm.es

diestra. Se filmó con dos cámaras de alta velocidad, cedidas por el Consejo Superior de Deportes a 125 fps (López De Subijana y Navarro, 2003). Así mismo se tomó como sistema de referencia un cubo de dimensiones conocidas 2x2x2 m.

Se aplicó la Direct Linear Transformation (DLT), de Abdel-Aziz y Karara, (1971), para la obtención de las coordenadas 3D de los 28 puntos digitalizados, con el software desarrollado por el laboratorio de Biomecánica del INEF. Se suavizaron los datos y se les aplicó un error medio de 0,015 m, similar a Fleisig et. al (2003). Dicho error se obtuvo de la digitalización de tres fotogramas diferentes 30 veces cada fotograma. La secuencia analizada constaba de 143 fotogramas. El modelo creado es un modelo mixto de barras y sólidos rígidos. Se basa en 28 puntos articulares internos, de Clauser (1969), adaptado por Zatsiorsky (1990), de los cuales 23 son del cuerpo humano, 4 son de la raqueta y el último es de la pelota de tenis. Son sólidos rígidos definidos con tres puntos no colineales: la pelvis, el torax, y la raqueta y definidos por dos puntos y otro punto en el mismo plano, siendo estos los brazos (Navarro, 1994). Los parámetros inerciales del cuerpo humano se tomaron de De Leva (1996). Las raquetas fueron de la marca «Volk» modelo «classic 7 pro», y de la marca «Fischer» modelo «pro 1-number 1», de dimensiones, masa, radio de giro y momentos de inercia conocidos. Se hallaron los parámetros inerciales de la misma siguiendo las especificaciones de Brody (2000) y de la Asociación Americana de encordadores de raquetas, (USRSA).

## Resultados

Se analizaron 14 servicios de GL y 12 de VR. Los parámetros biomecánicos considerados fueron los incrementos de energía cinética de los segmentos de ambas jugadoras. Las agrupaciones y tiempos de fases de ambas jugadoras fueron diferentes.

### Jugadora GL

Grupos de variables: ( $\Delta E_{cn}$  de incrementos normalizados)

1.  $\Delta E_{cn}$  Minf+pel= Suma de  $E_{cmi}$ ,  $E_{cmd}$ ,  $E_{cpni}$ ,  $E_{cpnd}$ ,  $E_{cpied}$ ,  $E_{cpeie}$  y  $E_{cpele}$ .
2.  $\Delta E_{cn}$  tor+br
3.  $\Delta E_{cn}$  ant
4.  $\Delta E_{cn}$  ma+ra

Tiempos de las fases:

- t1 máxima flexión de rodillas en apoyo bipodal.
- t2 máximo variable 1
- t3 máximo variable 2
- t4 máximo variable 3
- t5 máximo variable 4

### Jugadora VR

Grupos de variables: ( $\Delta E_{cn}$  de incrementos normalizados)

1.  $\Delta E_{cn}$  Minf=Suma de  $E_{cmi}$ ,  $E_{cmd}$ ,  $E_{cpni}$ ,  $E_{cpnd}$ ,  $E_{cpied}$  y  $E_{cpeie}$
2.  $\Delta E_{cn}$  pel+abd+tor
3.  $\Delta E_{cn}$  br
4.  $\Delta E_{cn}$  ant+ma
5.  $\Delta E_{cn}$  ra

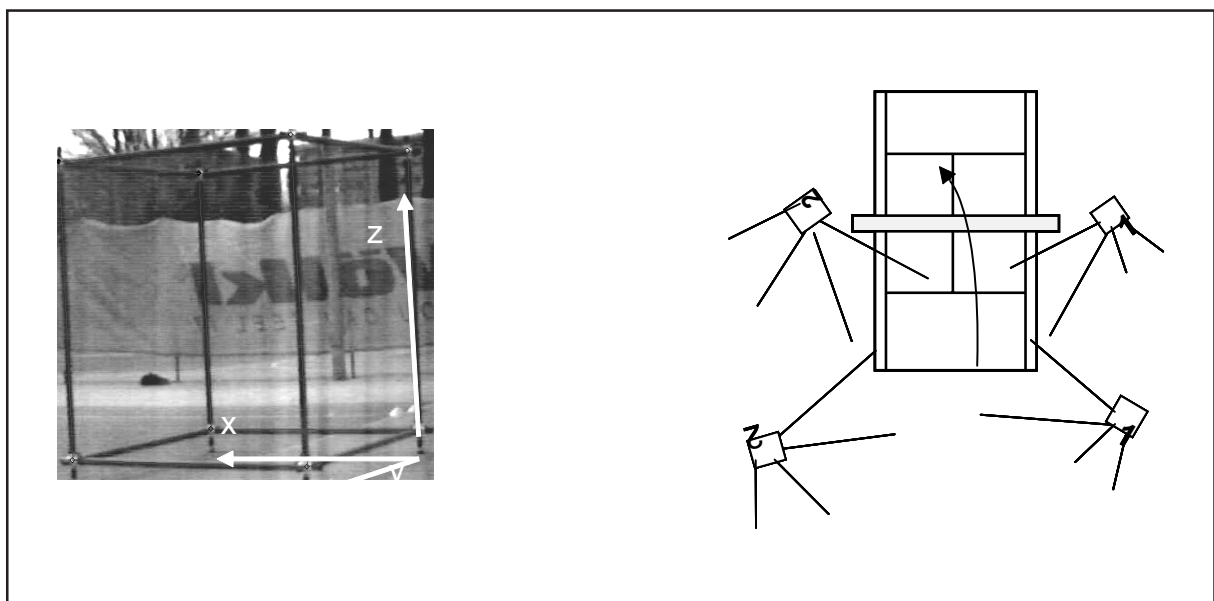


Figura 1 (izquierda) y 2 (derecha). Cubo de 2x2x2 m con los tres ejes señalados y posición de las cámaras

Tiempos de las fases:

- t1 máxima flexión de rodillas en apoyo bipodal.
- t2 máximo variable 2
- t3 máximo variable 3
- t4 máximo variable 4
- t5 máximo variable 5

*Función discriminante para GL:*

$$F(d) = 0,003 \cdot (2.4 \text{ antebr}) - 0,103 \cdot (2.3 \text{ torbr}) + 0,176 \cdot (4.5 \text{ antebr}) + 0,66 \cdot (3.4 \text{ minf-pel}) + 4,855.$$

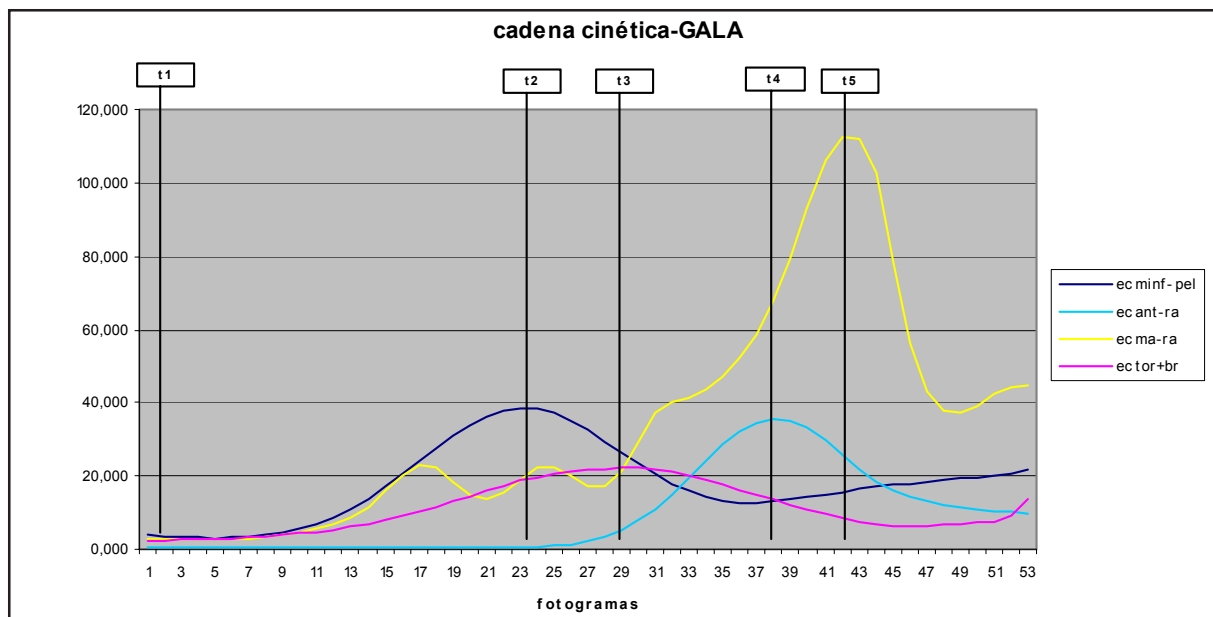
La función discriminante de VR tiene un coeficiente de correlación canónica de 0,934, ( $p < 0,05$ ). Los servicios del grupo 1 son negativos.

Las velocidades de salida registradas agruparon los servicios en dos niveles de eficacia.

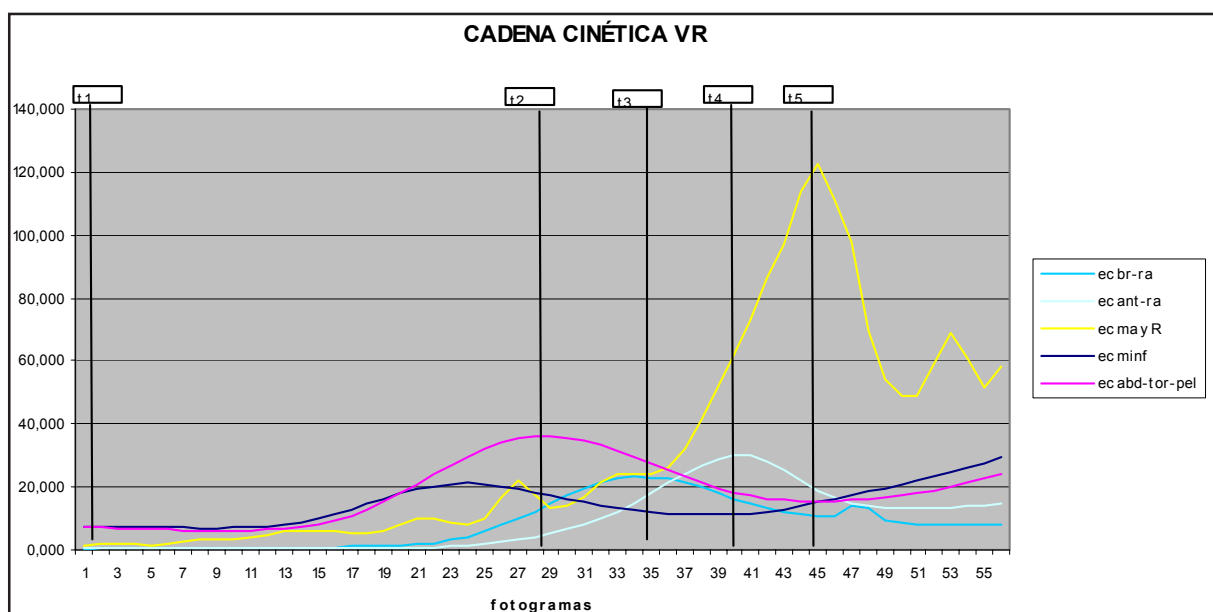
La función discriminante de GL tiene un coeficiente de correlación canónica de 0,789, ( $p < 0,05$ ). Los servicios del grupo 1 son positivos.

*Función discriminante para VR:*

$$F(d) = 0,492 \cdot (2.3 \text{ tronco-pel}) - 0,006 \cdot (2.3 \text{ br}) - 0,269 \cdot (3.4 \text{ tronco-pel}) + 0,25 \cdot (2.4 \text{ antebr}) - 0,483 \cdot (4.5 \text{ tronco-pel}) + 0,474 \cdot (4.5 \text{ brazo}) + 0,071.$$



**Figura 3.** Tiempos o fases de GL con las agrupaciones de variables



**Figura 4.** Tiempos o Fases de VR con las agrupaciones de variables

## Discusión

Ambas jugadoras muestran modelos de golpeo estables y con unas características determinadas. Los modelos no son compatibles entre sí. Sus técnicas y estilos mostraban diferencias en el análisis cualitativo, que fueron confirmadas en el estudio biomecánico más exhaustivo y riguroso.

Para que la jugadora GL ejecute un buen servicio:

1. El tórax-brazo en la fase 2.3 debe de incrementar de forma controlada.
2. El miembro inferior-pelvis en la fase 3.4 debe de tener un decrecimiento controlado.
3. El antebrazo debe de acelerar al máximo.

4. El antebrazo en la fase 4.5 de tener un frenado suave.

En el caso de la jugadora VR:

1. En la fase 2.3 el brazo alcanzará una gran energía cinética, mientras que el tronco-pelvis frenará su energía.
2. En la fase 3.4 el tronco-pelvis, debe de frenar su energía de forma más controlada, así como en la última fase del 4.5.
3. El antebrazo en la fase 2.4 debe de tener un incremento controlado.
4. El brazo en la fase 4.5 debe de tener un frenado acentuado antes del máximo de la mano-raqueta.

SECUENCIA	Velocidad	nivel	SECUENCIA	Velocidad	nivel
g7	36,4	2	v5	43,5	1
g8	37,3	2	v6	40,9	2
g9	37,0	2	v7	41,5	1
g10	39,2	1	v10	39,4	2
g11	38,2	1	v13	40,5	2
g12	37,4	2	v14	43,7	1
g13	38,9	1	v15	41,1	2
g14	38,5	1	v16	41,6	1
g15	38,8	1	v17	41,3	2
g16	38,0	2	v18	44,2	1
g17	36,6	2	v19	41,2	2
g18	37,1	2	v20	44,1	1
g19	38,7	1			
g20	40,9	1			

**Tabla 1 (izquierda) y 2 (derecha).** Velocidad de salida de GL y VR en m/s

## Conclusión

Este estudio demuestra que cada jugador, de un nivel avanzado, tiene su propio modelo del gesto técnico. No parece que exista un «modelo universal», sino que cada jugador debe de golpear siguiendo los principios biomecánicos.

Los jugadores de un nivel avanzado, muestran modelo biomecánico para el servicio. Dicho modelo es la referencia y la base, para futuros avances y correcciones en su técnica.

## Bibliografía

1. **Brody H.** Serving Strategy. ITF Coaching and Science Review December 2003; 31: 2-3.
2. **Brody H.** An overview of racket technology. In: Haake SJ , Coe AO Eds. «Tennis Science and Technology». Blackwell Science Ltd, London, 2000, p.43-48.
3. **De Leva, P.** Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. Journal of Biomechanics, 1996;29, 9:1223-1230.
4. **Elliott B.** The Serve. En, ITF Coach & Science review, ITF, 2001; 2, 24:26-29.
5. **Elliott, B.; Reid, M.; Crespo M. et. Al.** Biomechanics of Advanced Tennis, Elliott, B.; Reid, M.; Crespo M. Eds., ITF, London,2003.
6. **Elliott B, Fleisig G, Nicholls R, Escamilla R.** Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. Journal of Science and Medicine in Sport, 2003;6 (1):76-87.
7. **Fleisig G, Nichols R, Escamilla R, Elliot B.** Kinematics used by world class tennis players to produce high-velocity serves. Sports Biomechanics, 2003 Ed. R. Sanders, University of Edimburgh, 2 (1):17-30.
8. **Elliott, B. y Reid, M.** (2004). Análisis de la técnica del servicio y de los golpes de fondo de cancha. En, ITF Coaching & Sport Science Review, ITF, 2004; 32:2-4.
9. **Lo K, Wang L, Lin H, Su F.** Momentun transfer of upper extremity segments during the tennis serve. In: Miller S Eds. «Tennis Science and Technology 2».. Webcom Ltd. Canada, 2003, p.185-191.
10. **Navarro E.** Análisis biomecánico de la técnica individual del lanzamiento de jabalina. (Tesis Doctoral), Valencia: Universidad Politécnica de Valencia; 1994.
11. **Navarro, E., Campos, J., Vera, P y Chillaron, E.** A kinetic energy model of human body applied to 3D-Analysis of the javelin throwing, In, Hakkinen, K. (ed.) et al., XVth Congress of the International Society of Biomechanics, July 2-6, 1995, Jyvaskyla: book of abstracts , University of Jyvaskila, Jyvaskila; 1995, p 668-669.
12. **Noffal GJ.** Where do high speed tennis serves come from?. In: Elliott B, (ed.). Applied proceedings: tennis, Perth, ISBS '99 : XVII International Symposium on Biomechanics in Sports, June 30-July 6, W.A., Edith Cowan University, School of Biomedical and Sports Science; c1999, p 27-33.