

# Análisis cinemático del viraje en el esquí alpino de competición

P. J. GÓMEZ-LÓPEZ, M. GUTIÉRREZ-DÁVILA y V. M. SOTO.

Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada

## Resumen

*Esta comunicación trata sobre la aplicación de la Biomecánica Deportiva como perspectiva científica, al análisis cinemático del esquí alpino como objeto de estudio, y ha sido realizada basándose en una situación real de competición como fue el Campeonato del Mundo de 1996 celebrado en Sierra Nevada (Granada). Para el análisis de la muestra, utilizamos la metodología y las tecnologías propias de la biomecánica Deportiva como son el método indirecto y las técnicas fotogramétricas tridimensionales, basadas en la filmación del gesto deportivo utilizando el vídeo.*

*Los resultados obtenidos muestran la existencia de un patrón general de movimiento en la muestra de esquiadoras analizadas en cuanto a las velocidades tangenciales medias del CG<sub>(S)</sub> del sistema (esquiador más implementos). Entre las conclusiones, destacamos la existencia de una reducción de la velocidad tangencial media resultante en el recorrido analizado que es mayor aún, en el instante de paso del palo de viraje en particular y cuanto más curva es la trayectoria. Atendiendo a la desviación típica del comportamiento de la velocidad media resultante, podemos decir que en este tramo de paso de la puerta encontramos las diferencias entre la técnica individual de las esquiadoras analizadas.*

*Este estudio nos confirma la importancia del entrenamiento en situación real de competición (en cuanto a material, características pista de entrenamiento, etc.)*

## Introducción y objetivos

El viraje en el Slalom, considerando las altas velocidades que se alcanzan en las diferentes pruebas de esquí alpino y la exigencia de cambios constantes en sus trayectorias, ha sido estudiado desde el punto de vista de la Biomecánica Deportiva utilizando las técnicas fotogramétricas tridimensionales con deportistas de contrastada experiencia por diversos autores.

Entre ellos, hemos encontrado estudios sobre el viraje del Slalom a partir del análisis de las fuerzas de reacción, coincidiendo en afirmar que existe una disminución de la presión ejercida sobre la nieve en el momento de final e inicio de cada viraje (Yatabe, 1972<sup>1</sup>; Nachbauer, 1986<sup>2</sup>; Förg-Rob y Nachbauer, 1988<sup>3</sup>; Müller, 1994<sup>4</sup>; Raschner et al.,

1996<sup>5</sup>; Frick et al, 1996<sup>6</sup>; Hintermeister et al., 1996<sup>7</sup>, ente otros), y que dicha disminución se consigue gracias a los movimientos de extensión y flexión de las caderas, rodillas y tobillos (Foster, 1995<sup>8</sup>; Müller, 1994) y al desplazamiento lateral de rodillas y basculación de la cadera o inclinación del cuerpo hacia el interior de la curva (Chevalier y Schori, 1995<sup>9</sup>)

También, se ha estudiado en el viraje del Slalom la goniometría, la velocidad (lineal y angular) de las articulaciones del tren inferior (caderas y rodillas) y la velocidad tangencial de la punta de la bota externa, existiendo una relación significativa entre sus componentes (resultante, horizontal y transversal) (Goodwin, 1994<sup>10</sup>).

Aunque consideramos relevante dicha explicación sobre las causas que inciden sobre el viraje en esquí, no hemos encontrado estudios en el que se analice la velocidad de desplazamiento del CG del esquiador (CG<sub>S</sub>) en situación real de competición, teniendo en cuenta su trayectoria. En esta comunicación analizamos el viraje del Slalom, a partir del estudio de la velocidad del CG del esquiador.

### Correspondencia:

Departamento de Educación Física y Deportiva.  
Universidad de Granada Pablo J. Gómez López.  
Facultad de Ciencias de Actividad Física y del Deporte.  
Universidad de Granada. Ctra. Alfacar s/n 19071  
Granada.

E-mail: [pjgomez@ugr.es](mailto:pjgomez@ugr.es)

## Método y material

Se han analizado nueve mujeres, de  $23.33 \pm 3.67$  años,  $64.11 \pm 5.01$  kg de peso,  $1.68 \pm 0.044$  m de talla y una experiencia en competición de  $17.78 \pm 3.42$  años. Seis de ellas consiguieron clasificarse entre las ocho primeras al término de la prueba.

Para realizar el análisis a partir de las técnicas fotogramétricas, se seleccionó una parte del trazado donde se podía ver con detalle el paso de una puerta típica de viraje en la disciplina de Slalom, situada al final de la primera parte del trazado.

Acto seguido se procedió a la filmación del evento, para lo cual se utilizaron dos cámaras de vídeo fijas (S-VHS, NV-MS4 Panasonic) en una posición angulada, ancladas sobre plataformas estables en la nieve, con una frecuencia de muestreo de 50 Hz, y una velocidad de obturación de 1/2000. El sistema de referencias que cubría un volumen de  $13.5 \text{ m}^3$ , fue filmado antes y después del evento, con el objeto de verificar si las cámaras habían permanecido fijas durante la filmación de todos los esquiadores. En la Figura 1 se presenta un esquema sobre las posiciones de la cámaras y el sistema de referencia, con respecto a la puerta seleccionada.

Finalizada la filmación, comenzó el proceso de computerización y procesado de los datos. El primer paso consistió en la obtención de las coordenadas planas que definían el sistema coordinado de estudio, así como de los puntos del referencias, a través de un proceso de digitalización, asistido por una tarjeta sintonizada de vídeo (VÍdeoBlaster de Creative Lab) que nos permitió ver la imagen a través de la pantalla del ordenador e interactuar a través de ella.

Después, se realizó una interpolación a 100 Hz de los datos, con respecto al tiempo, mediante los algoritmos de spline de quinto grado, adaptados para dicho propósito. Tras la interpolación se procedió a sincronizar las filmaciones obtenidas por las dos cámaras, a través de un evento visual (como fue el fotograma de contacto con el palo de viraje por parte de los sujetos analizados). Para comprobar la coincidencia de las filmaciones, se realizó una sincronización matemática basada en el algoritmo DLT, a partir de los datos interpolados (Gutiérrez y Martínez, 2000)<sup>11</sup>.

Utilizando los algoritmos DLT (Abdel-Aziz y Karara, 1971)<sup>12</sup> basados en técnicas de ajuste mediante spline de quinto grado (Wood & Jennings, 1979)<sup>13</sup>, se realizó un ajuste o suavizado de las coordenadas planas y, finalmente, se obtuvieron las

coordenadas espaciales con respecto a un sistema de referencias inercial donde el eje Y fue el vertical, el X el horizontal con dirección hacia la pendiente y Z fue el transversal y perpendicular a los otros dos.

Se utilizaron los parámetros inerciales desarrollados por Zatsiorsky y Seluyanov (1985)<sup>14</sup> y adaptados por de Leva (1996)<sup>15</sup> a un modelo de 14 segmentos que determinaban el sistema del esquiador. Para el cálculo de los parámetros inerciales que determinaban los bastones, las botas del esquiador y los esquís se utilizó un método experimental, utilizando para ello material de similares características a las utilizadas por los esquiadores analizados. A partir de los valores obtenidos en el proceso experimental y siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez (1998)<sup>16</sup>, se calculó el centro de gravedad del sistema ( $CG_{(s)}$ ), compuesto por el esquiador más los implementos (esquís, botas y bastones).

Para la generación de los resultados, se ha utilizado los módulos de gráficos y obtención de variables numéricas incluidos en el Programa de Digitalización CYBORG v.3.0 desarrollado en el Laboratorio de Biomecánica de la Universidad de Granada. Finalmente, para comprobar las variables en la muestra de esquiadoras analizadas y obtener su representación gráfica, se han interpolado datos en función del porcentaje total de tiempo medio transcurrido desde que las esquiadoras inician el viraje hasta que lo finalizan.

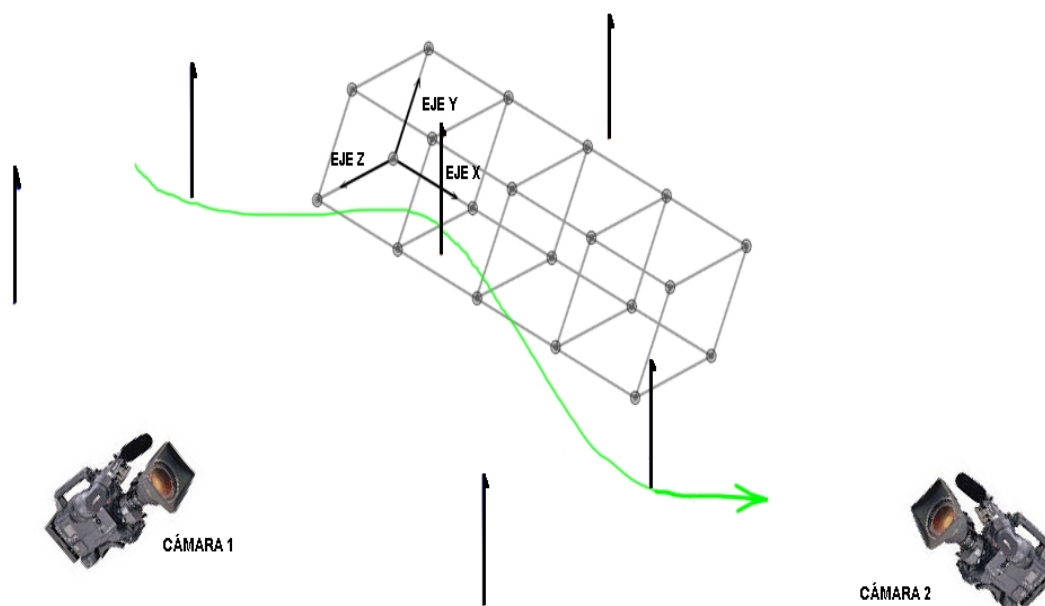
## Resultados

En la Tabla 1 se presenta el estudio temporal y la estadística descriptiva de la muestra. En ella se aprecia que el tiempo medio de bajada el tiempo total medio (TT) empleado, considerado como el tiempo total empleado en los dos recorridos que las esquiadoras han debido realizar a partir del cual se obtiene la clasificación final, es de 93.63 s, con una  $DT= 1.94$ . Debemos considerar que la desviación típica que presenta el grupo de deportistas analizadas en esta competición de gran relevancia internacional, es excesiva. Esto quiere decir que aun siendo las mejores esquiadoras del mundo en este momento, el valor de ciertas variables que determina su eficacia es relativamente variable.

Este mismo hecho sucede con el tiempo de bajada (TB) y el tiempo intermedio (TI), considerados como el tiempo invertido en el recorrido seleccionado por cada sujeto analizado y el tiempo que invierte el sujeto desde la salida hasta la mitad del recorrido, respectivamente.

En la Figura 2, se presentan las trayectorias descritas por el CG por cada una de las esquiadoras analizadas. En esta figura, podemos observar que las esquiadoras SD4 y SD7 son las que su CG pasa más cerca del palo de viraje. Estas a su vez son las deportistas que parecen estar más tiempo en la dirección de la pendiente una vez pasado el palo de viraje. También podemos apreciar como la esquiadora SD1, es la que más alejada pasa del

palo de viraje, realizando mayor arco de curva, lo que nos hace pensar que en puertas anteriores ha tenido problemas de línea que sigue manteniendo en este viraje analizado. La consecuencia es que realiza el peor tiempo de viraje (0.57 s). El resto de deportistas se encuentra entre las tres sujetos mencionados. Si tenemos en cuenta que la esquiadora que mejor tiempo de viraje ha sido la SD6 (0.49 s), estamos en disposición de afirmar que la trayecto-



**Figura 1.** Representación gráfica del sistema de referencia utilizado sobre el tipo de puerta de Slalom analizado y ubicación de las cámaras.

**Tabla 1** Análisis temporal y estadística descriptiva en las esquiadoras analizadas, expresado en valor absoluto (s), donde TT es el Tiempo total empleado por la deportista en las dos bajadas sobre el cual se obtiene la clasificación final, TB es el Tiempo realizado en la bajada analizada; TI es el Tiempo intermedio invertido en la bajada; TV es el Tiempo de viraje analizado.

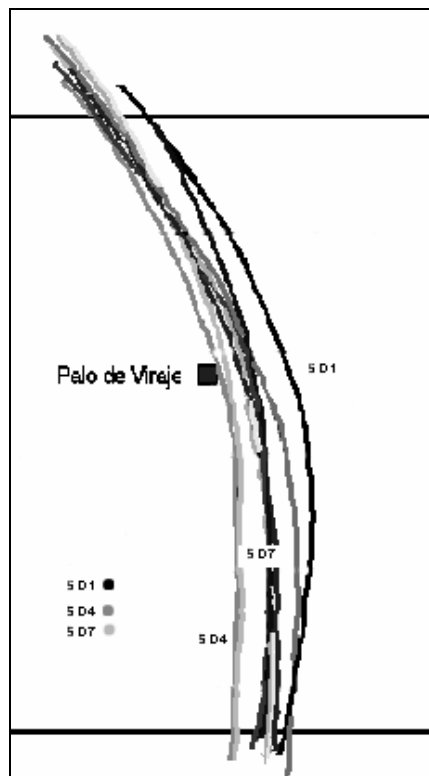
SUJETO	TT (s)	TB (s)	TI (s)	TS (s)
SD1	95.65	48.90	24.1	0.57
SD2	94.83	48.39	23.6	0.53
SD3	93.28	47.12	23.0	0.52
SD4	92.54	46.86	22.9	0.52
SD5	92.32	46.90	23.0	0.51
SD6	92.42	47.07	23.3	0.49
SD7	91.46	46.97	23.1	0.50
SD8	92.33	47.89	23.7	0.51
SD9	97.81	49.91	24.9	0.55
ESTADISTICA	TT (s)	TB (s)	TI (s)	TS (s)
MAXIMO	97.81	49.91	24.93	0.57
MINIMO	91.46	46.86	22.85	0.49
MEDIA	93.63	47.78	23.49	0.52
DT	1.94	1.022	0.636	0.023

ria eficaz es aquella que se mantiene cerca de la dirección de la línea de la pendiente durante el mayor tiempo posible y que pasa relativamente cerca del palo de viraje sin provocar un excesivo cambio de dirección tal y como puede apreciarse en la trayectoria que realiza esta esquiadora.

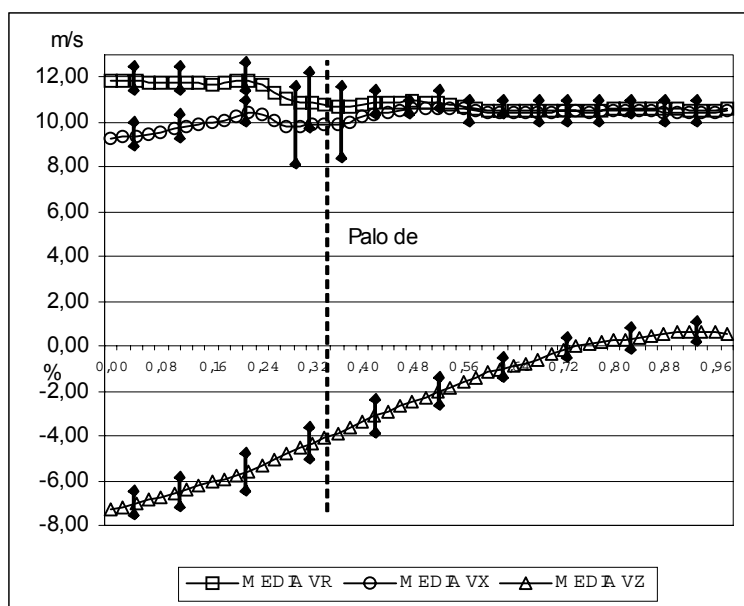
En la Figura 3, se presentan las componentes horizontal ( $V_x$  CG) y transversal ( $V_z$  CG) de la velocidad tangencial media del CG<sub>(S)</sub> del esquiador,

así como su velocidad resultante ( $V_r$  CG). Para poder realizar este estudio transversal entre las esquiadoras analizadas se ha recurrido a la representación gráfica de las componentes de la velocidad tangencial media del esquiador con respecto a los porcentajes del tiempo total requerido en el viraje analizado teniendo en cuenta el palo de viraje.

En ella se observa como, efectivamente, la velocidad media de la componente transversal del



**Figura 2.** Representación gráfica de las trayectorias del CG en la muestra de esquiadoras analizadas.



**Figura 3.** Representación gráfica de las componentes horizontal, transversal y resultante de las velocidades tangenciales medias del sistema ( $V_x$  CG,  $V_z$ CG y  $V_r$ CG, respectivamente) en el viraje analizado.

$CG_{(s)}$  del esquiador ( $V_z CG$ ), tiende a reducirse como consecuencia del cambio de dirección mientras que la componente horizontal ( $V_x CG$ ), tiende a mantenerse e incluso llega a incrementarse ligeramente al final. Este ligero incremento de la componente horizontal, nos indica que está existiendo un cambio de dirección hacia la línea de la pendiente a expensas de reducir su velocidad transversal. La consecuencia es que hasta el palo de viraje la velocidad media resultante ( $V_r CG$ ), tiende a reducirse.

La mayor desviación típica y reducción de velocidad tangencial media resultante encontrada ( $V_r CG$ ), se produce en paso del palo de viraje (antes del palo de viraje), mientras que después parece existir un comportamiento similar al de la componente horizontal.

## Discusión y conclusiones

Considerando que se trata de una muestra natural que corresponde a esquiadoras con gran nivel técnico que compiten en el Campeonato del Mundo de la disciplina aunque, y teniendo en cuenta los datos relativos a la estadística descriptiva del análisis temporal presentado en la Tabla 1, podemos observar como existen diferencias relativamente importantes entre los tiempos total (TT), de bajada (TB), intermedio (TI) y de viraje (TV).

Pensamos que estas diferencias se deben principalmente a la variabilidad del medio donde se desarrolla la competición (estado de la nieve, siempre cambiante) y a la existencia de elementos extrínsecos como el factor suerte en este deporte. Para paliar este efecto, la ganadora de la competición de Slalom, es la mejor de dos bajadas sobre dos trazados diferentes. Posiblemente este hecho se constata con los tiempos conseguidos por la esquiadora ganadora de la competición el tiempo de viraje obtenido por SD1, el cual no corresponde a su excesivo tiempo intermedio y a su tiempo de bajada, tal y como hemos podido ver en la Tabla 1, ya que a pesar de tener un TV de 0.02 s más que SD9, su TB es 0.99 s menor que el de SD9.

Se observa (Figura 2) que la trayectoria del CG más adecuada en el viraje de Slalom analizado debería comenzar lo más perpendicular posible al palo de viraje, lo que supondría haber resuelto la puerta anterior de una forma correcta y terminar la curva lo más cerca posible de la perpendicular de la siguiente puerta. La variabilidad encontrada en los tiempos de viraje obtenidos se constata de nuevo en la Figura 2.

Con respecto a los resultados obtenidos de las velocidades tangenciales medias  $CG_{(s)}$  del esquiador y en concreto de la velocidad media resultante ( $V_r CG$ ), en la Figura 3 se constata que la existencia de un momento crítico del viraje analizado, que es coincidente con el lugar donde está situado el palo de viraje, es decir, en este tramo es donde mayor pérdida de velocidad media resultante se produce. Posiblemente por la ubicación del palo de viraje, pero especialmente por lo que este condiciona el cambio de dirección.

Si observamos las desviaciones típicas que nos presentan estas gráficas (Figura 3), las mayores desviaciones se producen en el instante previo y posterior al palo de viraje, donde además coincide con el máximo cambio de la trayectoria y con el momento crítico comentado anteriormente, mientras que en el resto de los tramos las velocidades medias de las esquiadoras parecen más estables reduciéndose las desviaciones típicas. El incremento de la desviación típica en ese momento, nos confirma que el rendimiento en cada puerta de viraje está muy relacionado con la solución individual que cada esquiadora ha dado en dicho tramo lo que viene a confirmar que la utilización de patrones generales de técnica general debe estar condicionada a las soluciones individuales, siendo estas las que determinen las diferencias entre esquiadoras ya que antes y después del palo de viraje, las velocidades medias tienen comportamientos similares.

A partir de este tramo, observamos como la velocidad media no tiende a incrementarse, posiblemente debido a las peculiaridades del trazado. Analizando la componente transversal de la velocidad ( $V_z CG$ ) observamos como en general esta componente tiende a reducirse en todo el recorrido lo que quiere decir que las esquiadoras estudiadas adoptan una trayectoria curva prácticamente en todo el recorrido.

Según hemos podido comprobar, la velocidad media resultante del CG tiene que ver con el rendimiento en el Slalom, por lo que nos atrevemos a decir que en el entrenamiento de esta disciplina se deben buscar situaciones lo más parecidas posibles al gesto real de competición. Para ello es necesario, entrenar en aquellas pistas donde se realizan estas competiciones (mismas características en cuanto a tipo de nieve, pendiente, preparación de pista), con el mismo material que se emplea en competición (implementos deportivos) y con el mismo nivel de activación y concentración de nuestros deportistas como si de una competición se tratara.

## Bibliografía

1. **Yatabe, Y.** Simultaneous, multi-directional cinematography of a skiing turn. Scientific study of skiing in Japan. The Society of Ski Science. Tokio, Japan; 1972: 30-38.
2. **Nachbauer, W.**, Skireaktionskräfte im Torlauf und Riesentorlauf. (Ski reaction forces in slalom and giant slalom.) *Leistungssport*; 1988. 18(6), Nov, 12-18.
3. **Forg-Rob, W. y Nachbauer, W.**, Use of spline-functions in the smoothing of film data for slalom ski racers. *Internacional Journal of Sport Biomechanics*. 1988 4, 166-177.
4. **Müller, E.** Analysis of the biomechanical characteristics of different swinging techniques in alpine skiing. *Journal of sports sciences*. 12(3), 1994, 261-278.
5. **Raschner, Ch.; Müller, E.; Schwameder, H.** Kinematic and kinetic analysis of slalom turns as a basis for the development of specific training methods to improve strength and strength-endurance. En *Abstracts of the 1st International Congress on Skiing and Science*. January; 1996, 7-13.
6. **Frick, U.; Schmidtbleicher, D.; Raschner, Chr. y Müller, E.**, Types of muscle action of leg and hip extensor muscles in slalom. En *Abstracts of the 1st International Congress on Skiing and Science*. 1996, January 7-13.
7. **Hintermeister, R.A.; Lange, G.W.; O'Connor, D.D.; Dillman, C.J. y Steadman, J.R.**, Muscle activity of the inside and outside leg in Slalom and Giant Slalom Skiing. En *Abstracts of the 1st International Congress on Skiing and Science*. January 7-13, 1996.
8. **Foster, E P.**: *Technical Skills for Alpine Skiing*. Turning Point Ski Foundation, USA, 1995
9. **Chevalier y Schori** *Ski alpin. Technique de compétition et méthodes d'entraînement*. Fédération Suisse de Ski. Muri/Berne. Suisse. 1995
10. **Goodwin, D.A.** *Kinematic considerations of elite alpine slalom ski racers*. Thesis (Ph.D.) Western Michigan University, 1994; University Microfilms International, Ann Arbor, 1994.
11. **Gutiérrez, M. y Martínez, J.A.**, Desarrollo de algoritmos de sincronización de las cámaras para la reconstrucción espacial mediante DLT. *Biomecánica*. 1999; Vol. 7. 1. “”-“”
12. **Abdel-Aziz, Y.I. y Karara, H.M.** Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *ASP/UI Symp. Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois*. Falls Church, V.A.: American Society of Photogrammetry, 1971. 1-18.
13. **Wood, J.A. Y Jennings, L.S.** On the use of splines functions for data smoothing. *Journal of biomechanics*. 1979 12, 477-479.
14. **Zatsiorsky, V.M. Y Seluyanov, V.**, Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regressions equations. En Winter, D. et al., *Biomechanics IX-B*, Human Kinetics Publishers, Champaign: Illinois; 1985 (233-239).
15. **Leva, P.de.** Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 29, 9. 1996 (1223-1230).
16. **Gutiérrez, M.**, *Biomecánica Deportiva: Bases para el Análisis. Síntesis*: Madrid; 1988 (128-130).