

# Análisis biomecánico de la técnica individual del viraje en esquí alpino de competición

P. GÓMEZ-LÓPEZ, M. GUTIÉRREZ-DÁVILA Y V. M. SOTO-HERMOSO.  
Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada,  
Ctra. Alfacar s/n 19071- Granada, Spain

## Resumen

*El objeto del presente estudio es evaluar la goniometría articular de los miembros inferiores de esquiadores en condiciones reales de competición así como la dinámica del CG y otras variables que nos permitan exponer una teoría explicativa sobre el viraje en esquí de competición. Para ello se han analizado tres esquiadores durante la realización de la prueba de Slalom del Campeonato del Mundo de Sierra Nevada 1996, considerarse dichos esquiadores del más alto nivel internacional al disputarse entre ellos las medallas del citado campeonato. Para su análisis se han utilizado técnicas fotogramétricas tridimensionales. Los resultados han puesto de manifiesto que, en condiciones de competición, los desplazamientos del CG del sistema se producen como consecuencia de la inclinación del esquiador hacia el centro de la curva y no por flexión articular, así la liberación de presión para desplazar los esquís hacia los cantos se realizará a expensas de dicho movimiento de inclinación.*

**Palabras clave:** Biomecánica, esquí alpino, slalom, fotogrametría 3D.

## Summary

*This study develops the analysis of different kinematical variables like the joint goniometry and the dynamic of the CG in the lower limbs of alpine skiers, analysed in competition conditions, with the aim of exposing a theory that can explain the turn in competition alpine skiing. We analysed three best top level slalom skiers during World Championships in Sierra Nevada 1996. For this analysis we used 3D-photogrammetric techniques. Our results show that, in competition conditions, the displacements of the CG are consequence of the skier inclination to the centre of the turn, but not of the joint flexion. This inclination of the skier produce the lift of the pressure above the skis, letting the displacement to the lateral border of the ski.*

**Keywords:** Biomechanics, alpine ski, slalom, 3D photogrammetry.

## Introducción

A nivel general y siguiendo a Roldán (1993), el viraje en esquí se define como un cambio de dirección de la trayectoria rectilínea del esquiador a una trayectoria curvilínea, en la que los esquís se deslizan lateralmente sobre los cantos internos, describiendo una línea curva continua sobre la nieve. Como consecuencia del rozamiento que produce

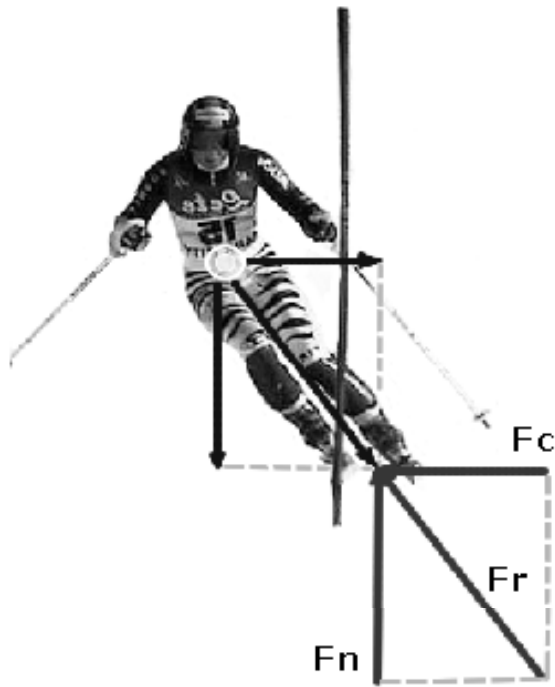
con la nieve ese deslizamiento lateral de los esquís sobre sus cantos, aparece una fuerza orientada hacia el centro de la curva que permite al esquiador desplazarse de forma circular. En la Figura 1 se presenta el diagrama de fuerzas que interactúan en un esquiador cuando realiza un viraje.

Considerando al cuerpo del esquiador como un punto material de masa  $m_i$ , dicha fuerza tiene una relación directa con su masa y el cuadrado de su velocidad tangencial de desplazamiento y una relación inversa con el radio de giro de la trayectoria, es decir, cuanto mayor sea la velocidad y menor el radio de giro de su trayectoria circular, mayor será la fuerza que se dirige hacia el centro de la curva (fuerza centrípeta) y, consecuentemente, la exigencia será mayor por parte del esquiador para mantener el rozamiento hacia fuera de la curva a expen-

---

### Correspondencia:

Marcos Gutiérrez Dávila  
Facultad de Ciencias de Actividad Física y del Deporte.  
Universidad de Granada.  
Ctra. Alfacar s/n 19071- Granada



**Figura 1.** Diagrama de fuerzas que interactúan en un esquiador cuando realiza un viraje, donde  $F_c$ , es la fuerza centrípeta,  $F_n$ , la Fuerza normal, y  $F_r$ , la Fuerza resultante que debe pasar por el CG del sistema.

sas de actuar con sus cantos sobre la nieve.

Considerando las altas velocidades que se alcanzan en las diferentes pruebas de esquí alpino y la exigencia de cambios constantes en sus trayectorias, el viraje en el esquí alpino ha sido estudiado desde el punto de vista de la biomecánica deportiva por diversos autores como Yatabe (1972)<sup>1</sup>, Nachbauer (1986)<sup>2</sup>, Förg-Rob y Nachbauer (1988)<sup>3</sup>, Goodwin (1994)<sup>4</sup>, Müller (1994)<sup>5</sup>, Raschner et al., (1996)<sup>6</sup>, Frick et al., (1996)<sup>7</sup>, Hintermeister et al., (1996)<sup>8</sup>, entre otros. Debido a la dificultad de su estudio en condiciones controladas de laboratorio, todos ellos han utilizado las técnicas fotogramétricas tridimensionales en situación real, especialmente de entrenamiento, y utilizando deportistas de contrastada experiencia.

En los diversos estudio señalados, se han analizado diferentes tipos de factores que podrían determinar la eficacia del gesto e incidir sobre el rendimiento del desplazamiento cuando existe una exigencia de virajes encadenados, como sucede en diversas especialidades de esquí alpino. En este sentido, Müller (1994)<sup>5</sup> observó la existencia de una disminución de la presión ejercida por los esquís sobre la nieve, al inicio de cada viraje, seguida de un cambio de cantos, una orientación de los esquís hacia la dirección deseada y un incremento final de la citada presión. Es decir, según lo expuesto por el

citado autor, cuando un esquiador debe encadenar virajes, aprovecha la disminución de la presión para cambiar de dirección, incrementando a continuación dicha presión para obtener las fuerzas necesarias que le mantengan en una trayectoria curvilínea.

Raschner et al. (1998)<sup>6</sup>, consigue registrar la presión ejercida sobre los cantos del esquí, confirmando la existencia de esta variabilidad en la presión ejercida por los esquís contra la nieve, siendo significativamente mayor en la última fase de la curva y reduciéndose considerablemente en el instante en que se produce el cambio de sentido, lo que confirma lo estudios llevados a cabo por Müller (1994).

En este mismo sentido, Foster (1995)<sup>9</sup> indica que la mejor forma de disminuir la presión ejercida sobre la nieve y cambiar los cantos, es disminuyendo la presión sobre la nieve mediante la realización de movimientos de extensión y flexión de las caderas, rodillas y tobillos. Según el Teorema de Centro de Masas, las conclusiones expuestas por Hochmuth (1967)<sup>10</sup> y los estudios llevados a cabo por Müller (1994)<sup>5</sup>, existen dos combinaciones de movimientos que pueden hacer disminuir la presión de los esquís y que facilitarán el cambio de cantos: a) cuando un esquiador realiza una extensión articular, acelerando su centro de gravedad (CG) hacia arriba, incrementa inicialmente la presión de los esquís contra el suelo, aunque al final se reduce por debajo de su peso y b) cuando un esquiador realiza una flexión articular, acelerando su CG hacia abajo, reduce inicialmente la presión, aunque el final de dicha flexión se incrementa por encima de sus peso.

Esta dinámica de flexo-extensión articular de las extremidades inferiores de los esquiadores, constituye un elemento esencial en la técnica del viraje, junto con los desplazamiento laterales de las rodillas y basculación de la cadera (Chevalier y Schori, 1995)<sup>11</sup>. Aunque consideramos relevante dicha explicación sobre las causas que inciden sobre el viraje en esquí, debemos entender que durante una competición, la velocidad de desplazamiento y la constante tensión ejercida por el esquiador para mantener su trayectoria, podría dificultar la realización de dichos movimientos de flexo-extensión, produciéndose otros mecanismos alternativos.

En este estudio se pretende evaluar la goniometría articular de los miembros inferiores en condiciones reales de competición, como es el Campeonato del Mundo de Esquí Alpino de Sierra Nevada 1996 (Granada), así como la dinámica del  $CG_{(s)}$  del sistema esquiador más implementos y ciertas

variables biomecánicas que hemos considerado relevantes para la exposición de una teoría explicativa del viraje en condiciones de alta competición.

### Material y método

Los sujetos analizados han sido tres hombres, indicados para nuestro estudio como SH1, SH2 y SH3 de  $28 \pm 2.65$  años,  $89.67 \pm 2.08$  Kg de peso,  $1.81 \pm 0.046$  m. de talla, respectivamente, y con una experiencia en competición de  $21 \pm 2.65$  años. Dichos esquiadores deben de considerarse del más alto nivel internacional, al menos durante la realización de la toma de datos para este estudio, en la prueba de Slalom del Campeonato del Mundo de Sierra Nevada 1996, como prueba el hecho de encontrarse disputando entre ellos las medallas, siendo SH1 el que al final obtuvo el primer puesto y los mejores resultados previos.

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 y considerada por los técnicos como una puerta eminentemente técnica. Para calibración del espacio se utilizó un objeto de referencia compuesto por cuatro cubos enlazados de 18 puntos que cubría el volumen aproximado del movimiento (6 m).

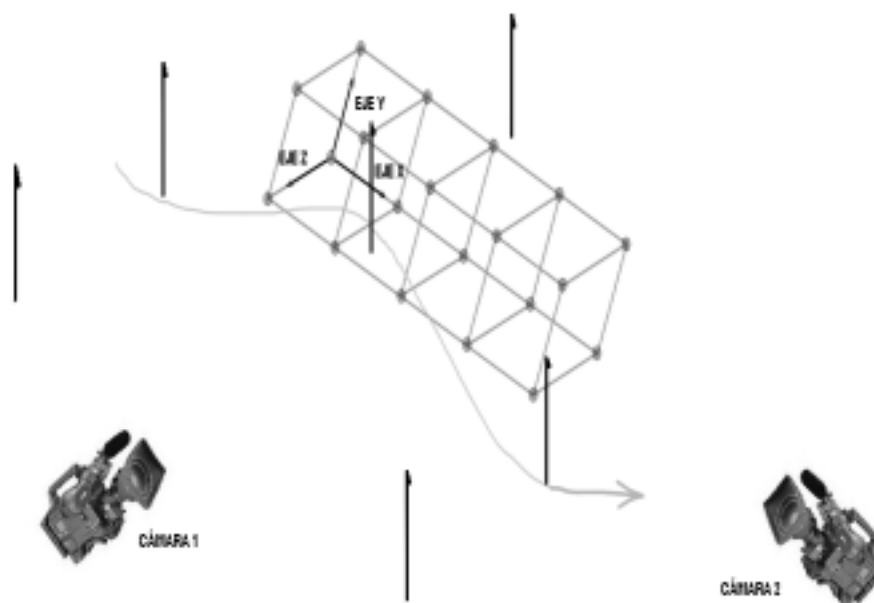
Posteriormente se procedió a la filmación del evento, para lo cual se utilizaron dos cámaras de

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 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 2** se presenta un esquema sobre las posiciones de las 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, con 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 de obtener las coordenadas planas de los 25 puntos que determinaron los 14 segmentos del sistema de estudio más los bastones y esquís, 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, proceso para el cual se realizó, en primer lugar una sincronización de las imágenes a través de un even-



**Figura 2.** Representación gráfica del sistema de referencia utilizado sobre el tipo de puerta de Slalom analizado y ubicación de las cámaras.

to visual (como fue el fotograma de contacto con el palo de viraje por parte de los sujetos analizados) y, posteriormente, una sincronización matemática basada en el algoritmo DLT, a partir de los datos interpolados (Gutiérrez y Martínez, 2000)<sup>12</sup>. Confirmada la coincidencia de los resultados a través de los dos métodos, se procedió a la sincronización definitiva.

Resuelta la sincronización de las cámaras, se realizó un ajuste o suavizado de las coordenadas planas mediante *spline* de quinto grado (Wood & Jennings, 1979)<sup>13</sup> 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, utilizando para ello los algoritmos (DLT)<sup>14</sup>.

Se utilizaron los parámetros inerciales desarrollados por Zatsiorsky y Seluyanov (1985)<sup>15</sup> y adaptados por de Leva (1996)<sup>16</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 botas 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>17</sup>, se calculó el centro de gravedad del sistema ( $CG_{(s)}$ ), compuesto por el esquiador más los implementos (esquís, botas y bastones).

Se registraron los valores de la goniometría articular de las caderas y las rodillas, tanto de las interiores como de las exteriores con respecto al palo de viraje, definiendo para ello los vectores de posición correspondientes. Así, para las caderas los vectores se definieron a partir de las coordenadas espaciales de los puntos cadera-hombro y cadera-rodilla de cada lado, respectivamente, y para el cálculo de la goniometría de las rodillas, por los vectores definidos por las coordenadas espaciales de los puntos rodilla-cadera y rodilla-tobillo de cada lado, respectivamente. Definidos dichos vectores, la goniometría se calculó a partir del producto esca-

lar de los respectivos vectores posición.

Finalmente, para el cálculo de las componentes de las velocidades tangenciales de los puntos que definían el sistema y del  $CG_{(s)}$ , se han deducido a partir de la primera derivada de la función *splines* de quinto grado que relaciona la posición espacial, con respecto al tiempo.

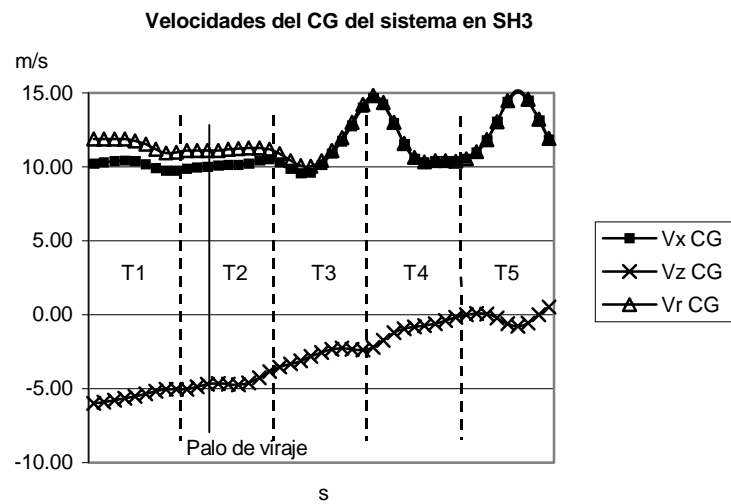
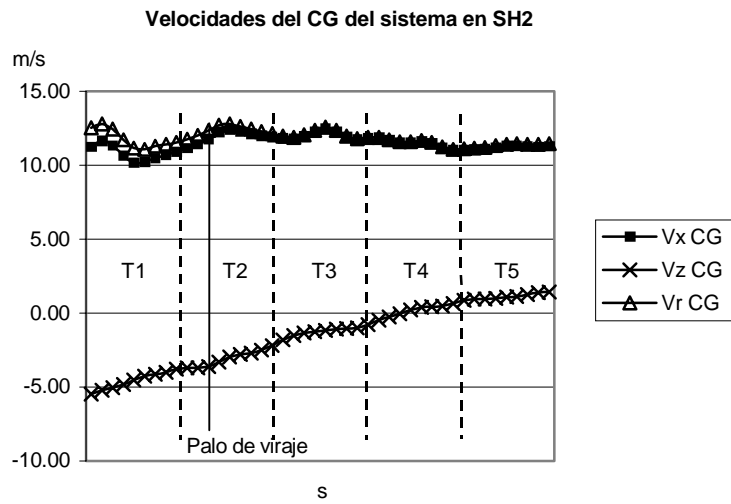
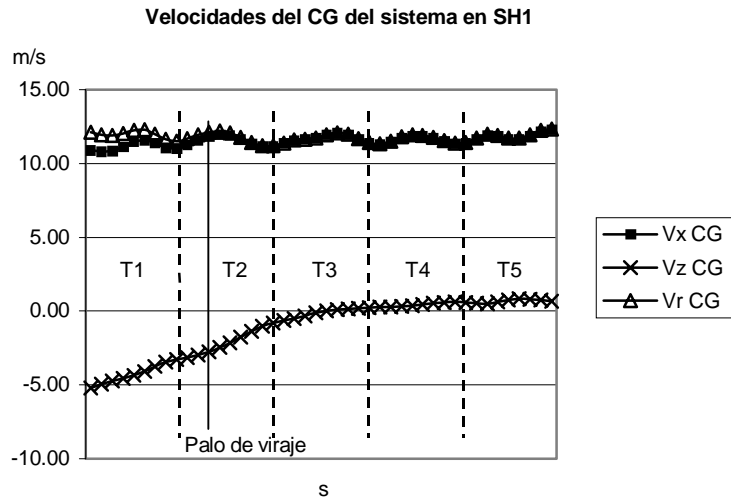
## Resultados

En la Tabla 1 se presenta el estudio temporal referido al tiempo total de bajada (TB), considerado como el tiempo invertido en el recorrido por cada sujeto analizado, utilizando para ello los resultados oficiales de competición facilitados por la organización del evento y referidos al cronometraje oficial; el tiempo intermedio (TI), considerado como el tiempo que invierte el sujeto desde la salida hasta un punto concreto que corresponde, aproximadamente, a la mitad del recorrido y que ha sido determinado igualmente a partir de los registros oficiales dados por la organización; el tiempo empleado en el viraje analizado (TV), obtenido a partir de los datos fotogramétricos correspondientes a las filmaciones realizadas, finalmente en la citada tabla aparece el tiempo donde se produce el máximo cambio en la trayectoria descrita por el  $CG_{(s)}$ .

En la citada tabla se observa como SH1 consigue el menor tiempo de bajada (TB=52.02 s) ganando la manga. Sin embargo se observa que en el tiempo intermedio (TI) fue superado claramente por SH2 en 0.4 s, lo que pone de manifiesto que durante la segunda parte de la bajada, SH1 realizó mejor tiempo (25.82 s), con respecto a SH2 (26.71). Considerando que la filmación se realizó en una puerta ubicada al final del primer tramo de la bajada, donde SH1 obtuvo tiempos superiores a SH2, la igualdad que se establece en el tiempo del viraje analizado (TV) de ambos sujetos tiene cierta lógica. Sin embargo, SH3 tiene un tiempo relativamente elevado en el viraje analizado (0.48 s) con respecto al tiempo intermedio empleado (26.5), por lo que podría decirse que este sujeto tuvo algún problema en

**Tabla 1** Análisis temporal de los Sujetos Hombres (SH), expresado en valor absoluto (s), donde **TB** es el Tiempo de Bajada; **TI** es el Tiempo intermedio; **TV** es el Tiempo del viraje analizado y **TMC<sub>CG</sub>** es el tiempo transcurrido hasta el momento de máxima curvatura del CG del sistema.

SUJETO	TB (s)	TI (s)	TV (s)	TMC <sub>CG</sub> (s)
SH1	52.02	26.2	0.46	0.22
SH2	52.51	25.8	0.46	0.29
SH3	52.98	26.5	0.48	0.43



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

esta puerta analizada.

Con respecto al tiempo donde se produce el máximo cambio en la trayectoria del  $CG_{(s)}$  ( $TMC_{CG}$ ), se observa como, SH1 lo adelanta al tiempo (0.22 s), coincidiendo prácticamente con el paso del palo de viraje, mientras que SH2 lo realiza en el tiempo 0.29 s y SH3 retrasan el máximo cambio a 0.43 s.

En la Figura 3, se presentan las componentes horizontal ( $V_x CG$ ) y transversal ( $V_z CG$ ) de la velocidad tangencial del  $CG_{(s)}$  del esquiador, así como su velocidad resultante ( $V_r CG$ ). Debemos entender que dichas velocidades están asociadas al sistema de referencia utilizado en el estudio y descrito en el apartado dedicado al método, por lo tanto, debemos indicar que la componente horizontal tiene un sentido hacia la pendiente y la componente transversal, siendo perpendicular a ésta, indica el desplazamiento lateral del esquiador con respecto a la pendiente. Para comprender mejor estas gráficas de velocidad, se han implementado cinco sectores de un metro de longitud medidos en dirección al eje horizontal y en sentido de la pendiente, además de la representación del palo de viraje, que, como se observa está situado en segundo tramo.

Con respecto al comportamiento de  $V_z CG$ , se observa como SH1 consigue reducir su velocidad negativa hacia la mitad del tramo T3, es decir se orienta hacia la pendiente cuando ha recorrido, aproximadamente, un metro después de pasar el palo de viraje, mientras que SH2 y, especialmente, SH3, lo retrasan hasta mediados de T4 y T5, respectivamente. Este hecho indica que SH1 realiza un viraje más rápido y con un radio de giro menor, orientándose rápidamente hacia la pendiente. Con respecto a la componente horizontal, mientras que SH1 mantiene una velocidad prácticamente constante a lo largo de todo el recorrido, SH2, reduce su velocidad ligeramente y SH3, produce oscilaciones muy acentuadas.

En la Figura 4, se presenta la altura del CG de los esquiadores, así como la goniometría de las articulaciones de las caderas y rodillas de los tres sujetos analizados. Se pone de manifiesto como en todos los casos existe un desplazamiento del  $CG_{(s)}$  en el eje Y, es decir, el  $CG_{(s)}$  disminuye su altura coincidiendo su punto más bajo con el máximo cambio en la trayectoria descrita por el  $CG_{(s)}$ . Como se había indicado, SH1 es el primero que realiza el máximo cambio en el palo de viraje, relacionado con la altura mínima de su  $CG_{(s)}$ . El sujeto SH2, que retrasaba su máximo cambio en la trayectoria descrita por su  $CG_{(s)}$  hasta instantes después de la salida del palo de viraje, también ocurre la misma

reducción de la altura de su  $CG_{(s)}$ , aunque su punto más bajo también se retrasa, y en SH3, que aún retrasaba más el máximo cambio de la trayectoria, esta coincidencia se produce a mediados del tramo T3.

Con respecto a la goniometría articular, en todos los casos la cadera y rodilla interna (más próximas al palo de viraje) se extiende hasta el tramo T3 o T4, para después volver a su valor inicial, mientras que existe mayor variabilidad en los valores relativos a la cadera y rodilla externa (más alejada del palo de viraje). En SH1, la rodilla externa tiende a la flexión hasta el tramo T2 para después volver a su valor inicial y la cadera externa mantiene prácticamente su valor durante todo el recorrido de viraje. En SH2 la cadera y rodilla externa tienden a la flexión hasta el tramo T4, para después iniciar la extensión y, con respecto al esquiador SH3, tanto la cadera como la rodilla externa mantienen comportamientos similares, tendentes hacia la extensión en todo el recorrido de viraje.

## Discusión

De los datos relativos al análisis temporal, expuestos en la tabla 1, se pone de manifiesto que SH1, anticipa el cambio de dirección con respecto a SH2 y SH3. Por otra parte, consigue reducir su velocidad de componente transversal ( $V_z CG$ ) en menor tiempo (Figura 3), lo que nos permite afirmar que SH1 utiliza menor tiempo para realizar el viraje y orientarse hacia la dirección de la pendiente, lo que implica que éste esquiador (SH1) debe realizar una curva con menor radio de giro y, consecuentemente, tener que soportar mayores fuerzas transversales, orientadas hacia el centro de la curva, como consecuencia del rozamiento que produce con los cantos de los esquís sobre la nieve (Figura 1).

Todo lo contrario ocurre con SH3, el cual retrasa el cambio de dirección, además de ser el que más tarda en reducir su velocidad de componente transversal ( $V_z CG$ ), orientándose más tarde hacia la pendiente. Por lo tanto, se puede decir que este esquiador realiza el viraje más amplio, teniendo que soportar menos fuerzas transversales, orientadas hacia el centro de la curva.

Efectivamente, como se desprende de la Figura 1, la fuerza centrípeta que debe soportar el esquiador está inversamente relacionada con el radio de giro, es decir, a menor radio de giro dicha fuerza se incrementa y la resultante de las fuerzas externas que la suelo ejerce contra el esquiador se

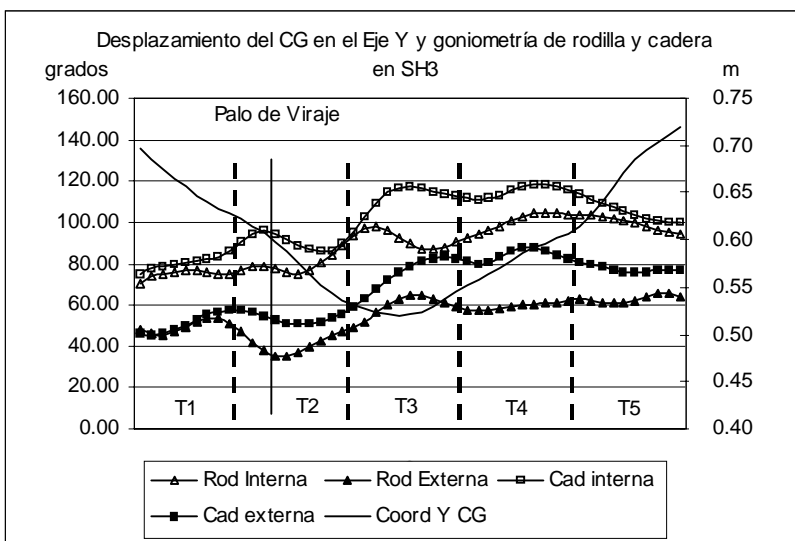
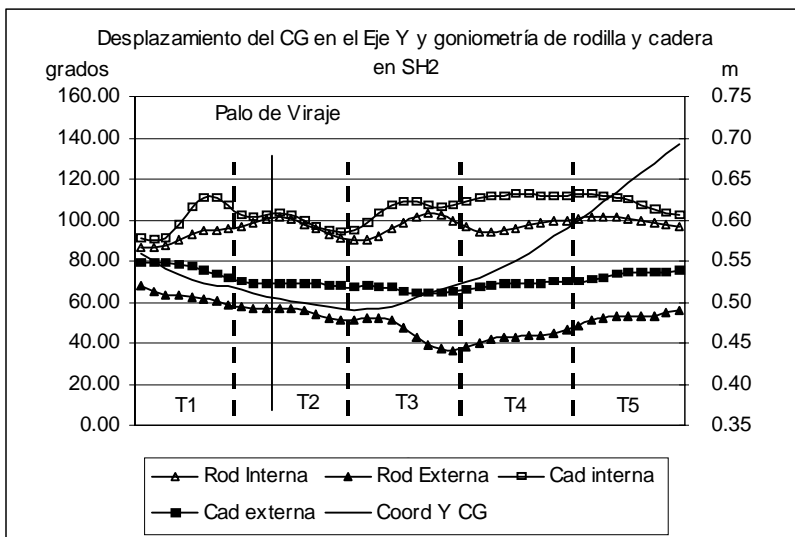
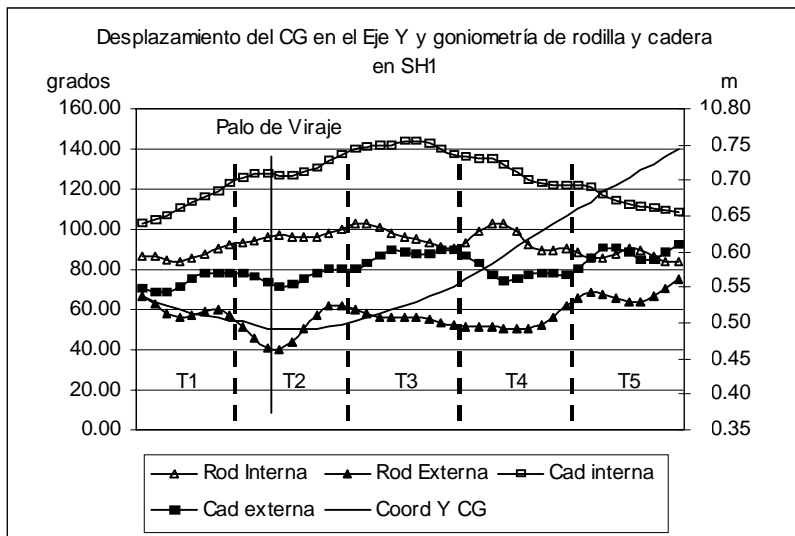


Figura 4. Representación gráfica del desplazamiento vertical del CG del sistema

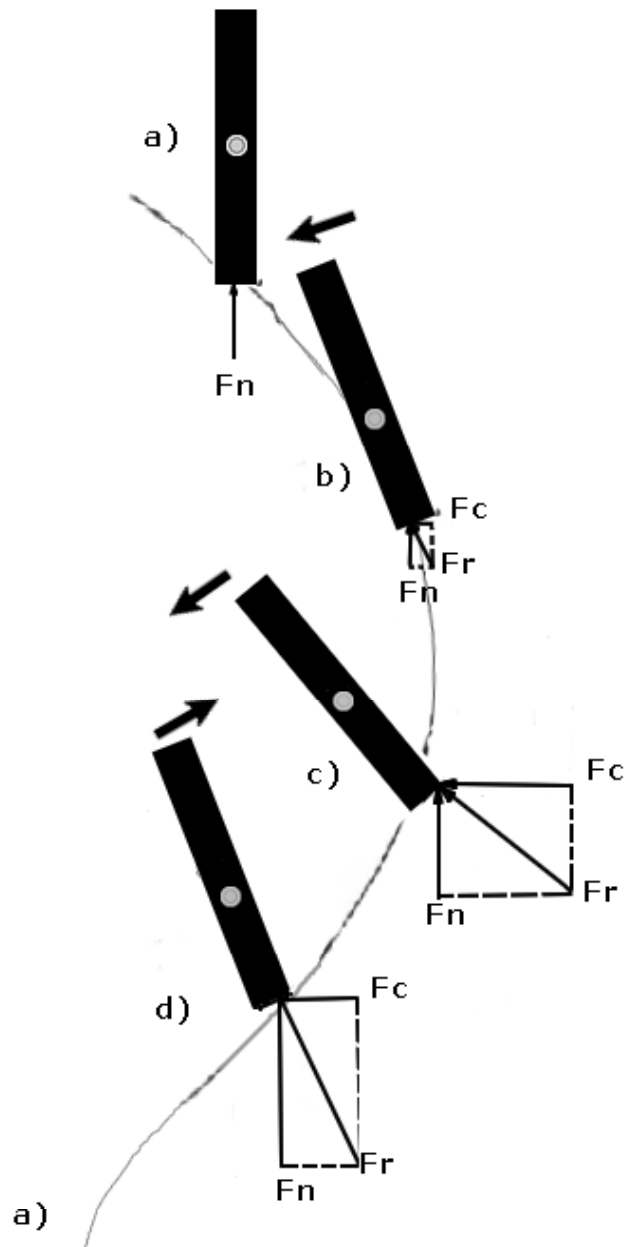
orienta hacia el centro de la curva, obligando a inclinarse hacia la curva al esquiador. Debemos entender que en esta situación, las fuerzas que debe soportar el esquiador son mayores que cuando el esquiador se desplaza en línea recta.

Posiblemente este sea el hecho por el cual Müller (1994)<sup>5</sup> y Raschner et al (1998)<sup>6</sup>, obtuvo una variabilidad en los registros de presión cuando un esquiador encadenaba diversos virajes en sentido contrario, ya que cuando se invierte el sentido del viraje, existe un instante en que el esquiador se desplaza en línea recta con una posición vertical, donde las fuerzas que debe soportar se reducen a las de su propio peso (fuerza normal), por el contrario, cuando está en pleno viraje, la fuerza resultante se incrementa como consecuencia de la actuación de la fuerza centrípeta y, especialmente cuando la velocidad de desplazamiento es relativamente alta, como sucede en las competiciones de alto nivel y en el estudio que nos ocupa.

En la Figura 4, se comprueba como el centro de gravedad del esquiador posee un desplazamiento vertical, donde la posición más baja está relacionada con el máximo cambio en la trayectoria descrita por el  $CG_{(s)}$ , lo que ratifica los estudios de Müller (1994)<sup>5</sup> y Raschner et al. (1998)<sup>6</sup>, así como la explicación dada por Foster (1995)<sup>9</sup> indicando que la mejor forma de disminuir la presión ejercida sobre la nieve y cambiar los cantos, es disminuyendo la presión sobre la nieve mediante la realización de movimientos de extensión y flexión de las caderas, rodillas y tobillos.

En la Figura 4 se ha implementado, junto al desplazamiento vertical del  $CG_{(s)}$  la goniometría de las articulaciones de las caderas y rodillas del esquiador durante el viraje, comprobándose que el descenso del centro de gravedad del sistema no está relacionado con la flexión de las articulaciones, ya que la variabilidad encontrada en las articulaciones no es simétrica, estando más relacionada con los movimientos laterales de las rodillas y basculación de la cadera, como indican Chevalier y Schori, (1995)<sup>11</sup> y el desplazamiento del tronco hacia el interior de la curva que se produce para situar el centro de gravedad del sistema en la dirección de las fuerzas resultantes que actúan en contra el esquiador desde el suelo.

Según lo expuesto, consideramos que el desplazamiento del centro de gravedad del sistema se produce como consecuencia de la inclinación del sistema hacia el centro de la curva y no por flexión articular y que las diferencias de presión encontradas por Müller (1994)<sup>5</sup> y Raschner et al. (1998)<sup>6</sup>



**Figura 5.** Variación de la fuerza normal ( $F_n$ ) en diferentes partes del viraje como consecuencia de la inclinación del sistema hacia el interior de la curva.

durante virajes encadenados, de debe al incremento de la fuerza resultante, debido a la fuerza centrípeta y al desplazamiento  $CG_{(s)}$ , como consecuencia de la inclinación del esquiador hacia la curva.

En la Figura 5, se presentan los diagramas de fuerza en cuatro instantes del viraje: en el instante a, el esquiador no ha iniciado el viraje y la fuerza resultante (fuerza normal) está relacionada con el peso del sistema, en el instante b, el esquiador inicia el viraje, inclinando el sistema hacia el centro de la curva, en este instante, el  $CG_{(s)}$  desciende, reduciéndose la fuerza resultante por debajo del peso del sistema, lo que aprovecha para cambiar



los cantos, como indica Foster (1995)<sup>9</sup>, en la posición **c**, el esquiador se desliza en curva, donde la fuerza resultante se incrementa como consecuencia de la fuerza centrípeta, soportada por el rozamiento de los cantos en la nieve, en la posición **d**, el esquiador deja su trayectoria curva y tiende a situar el cuerpo en la vertical, elevando su centro de gravedad, por lo que comienzan a disminuir la fuerza centrípeta, incrementándose la fuerza normal como consecuencia de la aceleración vertical del CG<sub>(s)</sub>. Finalmente el esquiador vuelve a la posición **a** para iniciar otro viraje.

Posiblemente a velocidades más bajas y/o virajes más amplios (con mayor radio de giro) que los analizados, la reducción de la presión para cambiar los cantos se realice mediante movimientos de flexo-extensión de las articulaciones de los miembros inferiores, como indica Foster (1995)<sup>9</sup>.

## 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. **Goodwin, D.A.** Kinematic considerations of elite alpine slalom ski racers. Thesis (Ph.D.) - Western Michigan University, 1994; University Microfilms International, Ann Arbor, 1994.
5. **Müller, E.** Analysis of the biomechanical characteristics of different swinging techniques in alpine skiing. *Journal of sports sciences*. 12(3), 1994, 261-278.
6. **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.
7. **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.
8. **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.
9. **Foster, E P.**: *Technical Skills for Alpine Skiing*. Turning Point Ski Foundation, USA, 1995
10. **Hochmuth, G.** *Biomechanick sportlicher bewegungen*. Berlin: Sportverlag. 1967
11. **Chevalier y Schori** *Ski alpin. Technique de compétition et méthodes d'entraînement*. Fédération Suisse de Ski. Muri/Berne. Suisse. 1995
12. **Gutiérrez, M. y Martínez, J.A.**, Método matemático para la sincronización de las cámaras mediante la utilización de algoritmos DLT. *Biomecánica*. 1999; Vol. VII, 13: 65-72
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. **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.
15. **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).
16. **Leva, P.de.** Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomichanics*. 29, 9. 1996 (1223-1230).
17. **Gutiérrez, M.**, *Biomecánica Deportiva: Bases para el Análisis. Síntesis*: Madrid; 1988 (128-130).