



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: Análisis biomecánico de la
técnica de esquí nórdico.

Biomechanic analysis of the cross country skiing technique.

Autor/es

Jesús Labanda Lacasta

Director/es

Carlos Castellar Otín

Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

2016

Índice.

Índice de tablas.....	3
Introducción.....	4
Marco teórico.....	6
Metodología.....	15
Resultados.....	18
Discusión.....	37
Conclusiones.....	52
Perspectivas futuras de investigación.....	53
Limitaciones del estudio.....	54
Agradecimientos.....	55
Bibliografía.....	56
Anexos.....	58

Índice de tablas.

Tablas del paso “diagonal stride”

Vista lateral.....18

Vista frontal.....19

Tablas del paso “double polling with kick”

Video 1: Vista lateral.....20

Video 2: Vista lateral.....22

Vista frontal.....23

Tablas del paso “double polling”

Vista lateral.....24

Vista frontal.....25

Tablas del paso G2

Video 1: Vista lateral.....26

Video 2: Vista lateral.....28

Vista frontal.....29

Tablas del paso G4

Video 1: Vista lateral.....30

Video 2: Vista lateral.....31

Video 3: Vista lateral.....31

Vista frontal.....33

Tablas del paso G3

Video 1: Vista lateral.....34

Video 2: Vista lateral.....35

Vista frontal.....36

Introducción.

El presente estudio que a continuación se expone, trata sobre la biomecánica y su aplicación en el mundo deportivo, en concreto al análisis de una técnica deportiva, el esquí nórdico.

Como posteriormente se desarrollará de forma más específica, la biomecánica es considerada por diversos autores como una ciencia o como un conjunto de conocimientos interdisciplinarios, que cubre diversos campos de análisis, entre ellos, como ya se ha comentado, el deportivo.

No obstante, para conocer cómo se desarrolla y que aplicaciones tiene la biomecánica en el medio deportivo, previamente hay que definirla. Son numerosos los autores que han tratado este conocimiento, y siendo un campo en el que no se vislumbran claramente sus orígenes, como se verá más adelante, la definición más completa y actual encontrada es la aportada por Sánchez (1999), en la cual la biomecánica es definida como el “conjunto de conocimientos interdisciplinarios generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras ciencias biomédicas, los conocimientos de la mecánica y distintas tecnologías en primer lugar en el estudio del comportamiento de los sistemas biológicos y, segundo, en resolver los problemas que provocan las distintas condiciones a las que puede verse sometido.”

Esta definición denota que la biomecánica es aplicable a todo ser vivo, desde el vuelo de los pájaros, tratado en uno de los primeros análisis biomecánicos de la historia realizado por Leonardo Da Vinci, pasando por actividades cotidianas realizadas por el ser humano como el análisis de la marcha, hasta gestos técnicos deportivos de mayor complejidad.

En referencia al concepto planteado, encontramos estudios como el de Kehler, Hajkova, Holmberg y Kram (2014) que definen la marcha como una forma de desplazamiento en la que el centro de masas es más alto en la fase del paso en el que hay un único apoyo, y más bajo durante las fases de doble apoyo.

De forma más compleja, como evolución al medio de locomoción de la marcha, encontramos la carrera, que de forma general se define como un modo de caminar que contiene una fase aérea en la que ninguno de los miembros del cuerpo está en contacto con el suelo (Kehler et al., 2014).

En la evolución hacia ejemplos más complejos de la aplicación de la biomecánica, Estevan, Falco, Freedman y Jandacka (2015) denotan esta aplicación a otros gestos técnicos como patear o lanzar, postulados como acciones con un patrón de cadena cinética abierta.

Como muestra de ello, la acción de patear es utilizada de forma común en el taekwondo, una disciplina deportiva de lucha. En el estudio de Mailapilli, Benton y Woodward (2015) este gesto, se clasifica según el tipo de acción que desencadenará la realización de la patada, en tres formas de ejecución: lineal, rotación y circular. Un ejemplo dentro de la patada lineal es la patada frontal, caracterizada por una secuencia de movimientos desde los puntos proximales a distales con un movimiento rápido sin carga para maximizar la velocidad del pie. De forma más compleja, dentro de las patadas de rotación, se encuentra la

patada con giro, que a los movimientos de la patada frontal utiliza rotaciones adicionales previas del cuerpo para generar una mayor velocidad.

Haciendo referencia a los lanzamientos, encontramos una secuencia similar a la anteriormente mostrada en la patada lineal, en el estudio de Serrien, Clijsen, Blondeel, Goossens y Baeyens (2015) en el que definen el lanzamiento de balonmano como una secuencia desde los puntos proximales hacia los distales que con la coordinación adecuada tiene como efecto generar y transferir un impulso al balón.

Centrando el tema en el deporte que es analizado en el presente trabajo, el esquí nórdico, es visto como una manera peculiar de locomoción para los seres humanos, ya que incluye una forma de desplazamiento en la que se utilizan las cuatro extremidades, siendo en él predominante la locomoción bípeda (Pellegrini, Zoppirolli, Bortolan, Zamparo & Schena, 2014).

En este deporte, se deben vencer las fuerzas procedentes de la resistencia del aire, la gravedad y la fricción con la superficie mediante el impulso generado por los batones y las piernas (Stöggli & Holmberg, 2015).

Hasta definirse la actual técnica de esquí tal como se conoce, ésta ha sufrido una evolución con el paso de los años, la primera de ellas en la década de los 80 del siglo pasado con la aparición de una nueva técnica de desplazamiento, el patinaje, y años después, en los 90, con la introducción de una nueva modalidad de competición más rápida, el sprint, que potenció el desarrollo de algunos de los pasos específicos de las técnicas del esquí (Stöggli & Holmberg, 2015).

El objetivo del presente estudio es la realización de un análisis descriptivo mediante la observación, a través de un protocolo de filmación y tratamiento de video de las técnicas y pasos previamente determinados del esquí nórdico.

Marco teórico.

Como ya se ha planteado previamente el trabajo que a continuación se va a desarrollar versa sobre la biomecánica aplicada en al deporte, no obstante, antes de profundizar dentro de este campo específico de la biomecánica, es necesario ahondar en el concepto y los planteamientos de la biomecánica de forma más detallada.

Al tratar de encontrar una definición para el término de biomecánica encontramos un primer problema, aunque todos los estudios consultados coinciden en dos pilares comunes como plantea Sánchez (1999), la mecánica y la biología. No hay un consenso en si se trata de una ciencia *per se*, o en un conjunto de conocimientos interdisciplinarios. Por ello, para la comprensión de este término Gutiérrez (1998), propone una revisión etimológica del término, comprendiéndolo en función de su desarrollo e importancia social. Para ello, exponemos una tabla extraída del trabajo de investigación de Aedo y Bustamante (2012), donde recogen una serie de definiciones expuestas por diferentes autores a lo largo de la historia (tabla 1).

Autor	Definición
Donskoy 1971	La ciencia que estudia el movimiento mecánico de los organismo animales, sus causas y manifestaciones
Cooper y Glasgow 1973	Es el estudio de la mecánica de organismos vivos en condiciones fulminantes, violentas, repentinas o de tensión prolongada.
Hatze 1974	Es el estudio de la estructura y la función de los sistemas biológicos por medio de métodos de la mecánica.
Atwater 1980	Fundamentos y métodos de la mecánica son aplicados a la estructura y función de los sistemas biológicos.
Nieto 1982	Se ocupa de los sistemas biológicos, en particular del ser humano, utilizando conceptos, métodos y leyes procedentes de la mecánica.
Attinger 1984	Análisis formal y cuantitativo de las relaciones entre la estructura y la función de los tejidos vivos y la aplicación de los resultados en el ser humano sano o enfermo.
Hay 1985	Estudio de las fuerzas internas y externas y de cómo éstas inciden sobre el cuerpo humano.
Berstein 1987	La ciencia de la coordinación de los movimientos humanos.
Zatsiorski 1988	La biomecánica es la ciencia de las leyes del movimiento mecánico en los sistemas vivos.
García Munuel 2008	Parte de la biología que estudia la acción de los agentes exteriores sobre las células y las modificaciones resultantes (transformismo).

Tabla 1: Definiciones. Aedo y Bustamante (2012)

Sea considerada una ciencia en sí misma, o un conjunto de conocimientos interdisciplinarios, es evidente que aúnan conocimientos de diferentes campos de la ciencia, como ejemplo, Gutiérrez (1994) en su estudio sobre la biomecánica del ciclismo señala la participación de la ingeniería mecánica, en el análisis de las resistencias aerodinámicas en túneles de viento, de la

medicina en las dinámicas musculares, y de estudios cinemáticos y cinéticos para la óptima aplicación de fuerzas sobre el pedal y las variables interactivas que inciden en su eficacia.

Teniendo en cuenta este planteamiento, la aparición de la biomecánica en la historia queda supeditada a la aparición y los respectivos avances de las ciencias de las que extrae su conocimiento.

La primera vez que se utilizó el término de biomecánica fue en la publicación del profesor alemán Dr. Mortiz Benedikt en 1887, en un seminario científico en Wiesbaden (Pérez y Llana, 2015). Los diferentes campos que conforman la biomecánica surgieron mucho antes, se pueden conformar estos periodos históricos, en los que surgieron y se realizaron los siguientes avances (Pérez y Llana, 2015):

- Antigüedad (650 a 200 a.C.): el mundo de los griegos, caracterizado por grandes avances en matemáticas, astronomía, mecánica, física, geografía y medicina.
Entre otros grandes filósofos y científicos, se destaca el trabajo de Pitágoras, gran matemático, que de entre muchos de sus avances destacaremos el teorema que lleva su nombre. Aristóteles, el primero en describir la marcha animal. Galeno, que estudió la relación entre músculos agonistas y antagonistas. Además de grandes médicos como Hipócrates y Herófilos, o Arquímedes un gran matemático, físico e ingeniero que realizó grandes avances en sus campos.
- Edad Media (200 a 1450 d.C.): época oscura, en la que debido al desarrollo espiritual y de la religión no se produjeron avances en el plano científico.
- Renacimiento Italiano (1450 a 1600 d.C.): época caracterizada por la libertad de pensamiento. De ella, quedan grandes pensadores que aportaron mucho a los campos de la ciencia.
Hay que destacar el trabajo de Leonardo Da Vinci, artista, ingeniero y científico, sus trabajos y descubrimientos fueron múltiples, desarrollo las bases de la anatomía y la fisiología moderna, estudio el movimiento y la actividad muscular en conjunto, dentro del campo de la cinética como la descripción del paralelogramos de fuerzas, estudios sobre la fricción, y la preparación de la tercera ley de Newton.
También, se encuentra los trabajos de Copérnico, gran matemático y físico, así como Vesalio considerado el padre de la anatomía moderna y sus trabajo en relación a la contracción muscular.
- La revolución científica (1600 a 1730 d.C.): clima similar al desarrollado durante el renacimiento italiano, permitiendo el avance de la ciencia y en concreto, dentro de la biomecánica, la unión entre teorías y la experimentación durante el desarrollo de la investigación científica.
Galileo Galilei es uno de los principales exponentes de este periodo, realizó estudios anatómicos sobre tejidos y aparato locomotor, realizó estudios biomecánicos sobre el esqueleto, en su obra "Dialogues and mathematical demonstrations concerning two new sciences pertaining to mechanist and local motions" realiza observaciones sobre lo que hoy se considera biomecánica humana.

René Descarte, gran matemático y científico, su principal aportación a la biomecánica fue el desarrollo del sistema de coordenadas cartesiano y la posibilidad de representar el movimiento.

Otra figura relevante fue la de Giovanni Alfonso Borelli, considerado por Viladot (1992) el padre de la biomecánica, realizó fórmulas matemáticas aplicadas al movimiento de los animales, estableció las relaciones producidas por los músculos, su acción mecánica y la influencia de agentes externos como resistencias al aire o el agua. Además desarrolló la iatromecánica, es decir, la mecánica aplicada a la medicina.

Uno de los científicos más conocidos fue Isaac Newton, gran físico, alquimista y matemático, que aunque de forma específica no aportó nada a la biomecánica, si que desarrolló los cimientos de la mecánica moderna.

- Ilustración (1730 a 1800 d.C.): de forma resumida los principales avances a la biomecánica en esta época fueron, la mejora de la comprensión del concepto de fuerza y su relación con el movimiento, se consolidaron matemática de las leyes de la mecánica, la influencia de las fuerzas eléctricas, bioquímicas y mecánicas en la contracción muscular, estudios de dinámica de los movimientos humanos, y la realización de estudios biomecánicas para la creación de estructuras. De este periodo destacamos los diferentes trabajos de Leonhard Euler, Jean le Rond D´Alembert y Joseph-Louis Lagrange.
- El siglo de la marcha (1800 a 1900 d.C.): previo a este siglo, hay una falta de técnicas y metodologías, gracias a los avances tecnológicos en relación a la fotografía se puede realizar un registro del movimiento. En esta época se desarrollan nuevas técnicas de instrumentación y métodos para la cuantificación de la cinética y cinemática, métodos de ingeniería en el análisis biomecánico y biomédico, la biomecánica se basa en la cuantificación y el análisis matemático, desarrollo de la electromiografía en la acción muscular y la creación de biomateriales para la generación de estructuras.
De este periodo destacamos el trabajo de Etienne Jules Marey, uno de los biomecánicos más prolíficos según Cavanagh (1990), que desarrolló un material de grabación portátil, primitivos acelerómetros y la primera plataforma dinamométrica.
También hay que destacar el trabajo de Eadweard Muybridge (1887), que gracias al patrocinio de Standford y la Universidad de Pensylvania publicó un documento en el que se recogen fotografías secuenciadas de la marcha humana y de diferentes animales, además de secuencias de diferentes situaciones cotidianas y deportivas del ser humano.
- Siglo XX (1900 a 1950): las épocas anteriores destacan por un desarrollo teórico, este periodo goza de un amplio desarrollo tecnológico gracias al cual se producen grandes análisis para poder aplicar el método científico.

Conociendo el origen y la evolución de la biomecánica a lo largo de la historia, queda clasificarla y determinar los campos de actuación actuales que la definen. En su obra, Pérez y Llana (2015) recogen dos clasificaciones principales:

Según Donskoi y Zatsiorski (1988) citados por Pérez y Llana (2015), tres son los enfoques principales desde los que estudia la biomecánica humana:

- Mecánico: que estudia la variación del movimiento bajo la acción de fuerzas aplicadas y sobre la aplicación de leyes de la mecánica.
- Anatómico-funcional: que establece condicionalidad recíproca entre la forma y la función en el organismo.
- Fisiológico: sistematicidad de las funciones del organismo, del aseguramiento energético e ideas del nervismo, centrado en los procesos de dirección de los movimientos.

Y la clasificación según Izquierdo y Arteaga (2008), que basa su clasificación en función de los campos de aplicación, aunque estos no estén nítidamente definidos y muchas veces relacionados:

- Biomecánica médica: abarca las patologías que aquejan al cuerpo para generar soluciones capaces de evaluarlas, repararlas o paliarlas. Dentro de este campo se distinguen la traumatología, la rehabilitación, la fisiología y la ortopédica.
- Biomecánica ocupacional: relación mecánica que el cuerpo sostiene con los elementos con los que interactúa en distintos ambientes, el laboral, el docente, el doméstico o el ocio para adaptarlo a sus necesidades.
- Biomecánica deportiva: estudio para la mejora del rendimiento, desarrollo de técnicas de entrenamiento y diseño de materiales deportivos con altas prestaciones. Según Aedo y Bustamante (2012), la biomecánica deportiva tiene gran influencia de la cinesiología, ya que muchas de estas técnicas son adaptaciones de los movimientos básicos. Dentro de este campo destacamos dos aspectos:
 - o Mejora del rendimiento.
 - o Mantenimiento de salud: para evitar las lesiones.

Para el estudio y la clasificación de los deportes que trata la rama de la biomecánica deportiva, Aedo y Bustamante (2012), proponen la clasificación de Izquierdo (2008) para su tratamiento, que clasifica el deporte en:

- Deportes de fuerza rápida.
- Deportes de resistencia.
- Deportes de exactitud y expresión.
- Juegos deportivos y deportes de combate.

Por último, para plantear la última variable necesaria para el estudio de la biomecánica, es necesario conocer las diferentes herramientas y técnicas más utilizadas (Pérez y Llana, 2015):

- Cronoscopios: tienen como fin la medición del tiempo, estos están conectados a diferentes métodos de accionamiento que responden ante diferentes eventos. Algunos ejemplos de accionadores serían las fotocélulas, las plataformas de contacto o los micrófonos.
- Cinematografía: gracias al desarrollo de las cámaras permite el análisis de posición del centro de gravedad, posición y rangos de movimiento. Gianikellis (1996) la define como un conjunto de técnicas que permiten obtener información respecto a las dimensiones, posición y orientación

de un objeto físico y de su entorno, por medio de filmación medida y cálculos matemáticos sobre dichas medidas.

- Electrogionometría: método de traducción de ángulos, se coloca en una articulación permitiendo medir su evolución angular en el tiempo.
- Electromiografía: herramienta para el estudio de la función neuromuscular a través del registro procesamiento y análisis de la actividad eléctrica que emanan las fibras musculares.
- Dinamografía: medición de la fuerza durante una acción determinada. En la actualidad se permite captar la fuerza, momentos y presiones que actúan sobre el cuerpo humano.
- Acelerometría: instrumento de baja masa, que fijados a un segmento corporal permite el registro de las aceleraciones que sufre el mismo.
- Electrodinografía y presurometría: permite el registro y análisis de la distribución de presiones en el apoyo dinámico del cuerpo humano.
- Modelos matemáticos: descripción desde un punto de vista matemático de un hecho o fenómeno del mundo real.

Conociendo ya los diferentes factores, la evolución y formas de estudio de la biomecánica, se pasará a definir el deporte de estudio, el esquí nórdico.

El esquí nórdico

Pellegrini, Zoppirolli, Bortolan, Zamparo y Schena F. (2014) describen el esquí de fondo como una forma de locomoción, que utiliza para tal fin, una serie de herramientas de desplazamiento pasivas (los esquís y bastones), que permiten desplazarse por el entorno nevado con un uso energético reducido si se compara con otras formas como caminar o correr.

Como resalta en su estudio esto viene dado porque, durante gran parte del ciclo, se mantiene un deslizamiento dado por la acción combinada de los brazos y las piernas, lo que provoca un alargamiento substancial de la longitud del paso.

Esta forma de progresión viene marcada por un amplio abanico de técnicas que permiten cubrir diferentes tipos de terreno y adaptarse a ellos de forma eficiente, lo que origina un deporte con una gama extensa de patrones de movimiento cíclicos utilizados en un mismo evento deportivo (Marsland et al., 2012). Esta diversidad viene dada por las múltiples técnicas y los cambios del perfil a los que hay que adaptarse, las cuales, confieren una disciplina de resistencia con un nivel exigente tanto físico como técnico (Sandbakk Ø., Ettema G., Leirdal S., Jakobsen V., & Holmberg H.C., 2011).

En lo referente a las técnicas, Marsland et al. (2012), nos habla de dos estilos principales, el patinaje y el clásico, y cada uno de los cuales tiene cuatro subsistemas principales, llamados también "gears", usados en competición.

Como se ha comentado anteriormente, el esquí de fondo tiene un amplio repertorio técnico, y el cambio entre técnicas y su adecuación, sobre todo en competición, por parte del deportista es algo crucial (Andersson et al., 2010; Sandbakk et al., 2011), y viene determinado no solo por la inclinación del terreno, sino también por la velocidad con la que se afronta la cuesta y la duración de la misma (Andersson et al., 2010; Marsland et al., 2012).

En un estudio realizado por Marsland et al. (2012) contabilizaron una media de 29,1 cambios de paso o “gear” en una distancia de 1,43km. Estas transiciones conllevan un estrés para los músculos que deben adaptarse a la nueva técnica aplicada y a sus particulares exigencias fisiológicas. Como comparación el triatlón realiza tres ejercicios diferentes durante su competición, lo que conlleva dos transiciones, y éstas han suscitado especial interés debido a las dificultades percibidas por los deportistas (Andersson et al., 2010).

La elección de la técnica también viene supeditada por la capacidad de rendimiento del deportista. Análisis de competiciones muestran un uso mayor de los pasos más exigentes de aquellos competidores mejor clasificados (Marsland et al. 2012).

Conociendo ya el contexto de aplicación de la técnica, vamos a pasar al desarrollo o análisis general de los dos estilos y sus pasos.

Por un lado, la técnica clásica se compone esencialmente de tres técnicas principales, “diagonal stride” (DS), “double poling” (DP) y “double poling with kick” (DPWK). Las diferencias en estas técnicas vienen dadas por la contribución de los miembros inferiores y superiores, así como en el momento y la duración de las fases de propulsión (Pellegrini et al., 2014).

Stöggli y Müller (2009) describen el “diagonal stride” como un paso en el que los brazos y las piernas se mueven de forma opuesta. En el momento en el que un brazo realiza un empuje es la pierna opuesta la que empuja de forma simultánea. Por su parte, el movimiento de los brazos se divide en dos fases, una de empuje y otra de oscilación. Posteriormente, tras finalizar el movimiento, vuelve al punto inicial de empuje, a este tiempo se le denomina fase de no contacto. El movimiento de las piernas se divide en una fase de posicionamiento al comenzar el cambio de piernas y su finalización, con el cambio de pierna en el momento de contacto con el suelo.

Pellegrini (2014) lo describe como una fuerza ejercida a través de los esquís y batones, de forma que los brazos y las piernas se mueven en un patrón coordinado que se asemeja al de caminar o correr. Coincidiendo con lo definido por Stöggli et al. (2009), el empuje de un brazo se lleva a cabo junto con el empuje de la pierna contralateral. La acción propulsora de la pierna implica una parada en el movimiento del esquí seguido de un movimiento rápido, hacia abajo y hacia atrás de la pierna, similar al de una patada hacia atrás.



Imagen 1: Diagonal stride.

El “double poling” se realiza con movimientos simétricos y sincronizados de los dos bastones, la acción propulsora de los cuales se ve reforzada por una considerable flexión del tronco. En este paso la participación de las piernas es mínima (Pellegrini et al., 2014).

El movimiento puede dividirse en dos fases, una primera en la que todas las fuerzas de propulsión son simétricas y sincronizadas durante el contacto en el suelo de los bastones. Y una segunda que se inicia cuando estos dejan de tocar el suelo y los brazos realizan un movimiento de oscilación hasta la posición inicial (Stöggl et al., 2009). Este paso es el más explosivo y se caracteriza por un movimiento de empuje corto y explosivo y una recuperación más larga (Stöggl, Lindinger, Müller, 2007).



Imagen 2: Double poling.

Por último, el “double polling with kick” se realiza con una acción de empuje similar al del “double polling”, pero añadiendo un lanzamiento de pierna izquierda o derecha adicional (Pellegrini et al., 2014).



Imagen 3: Double polling with kick.

En lo relativo al patinador o libre, las fuerzas de reacción del esquí son cercanas a ser perpendiculares en relación a la superficie de este. En este sentido, el canto del esquí y la dirección del sentido de la pista forman un ángulo en la superficie de la pista. Las variaciones de estos ángulos no son muy grandes, por lo que las fuerza producidas por las piernas son relativamente ineficaces (Myklebust H., Losnegard T. & Hallen J. 2014).

Las fuerzas aplicadas a través de los brazos y los bastones forman también un ángulo con respecto a la dirección de avance, sin embargo estos ángulos son más favorables, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de las fuerzas aplicadas (Myklebust et al., 2014). No obstante, el movimiento o acción del tren superior está acompañado e interviene la acción de la cadera y de la rodilla (Holmberg, Lindinger, Stöggl, Eitzmair, Müller, 2005).

Para la denominación de los diversos pasos que componen la técnica libre de esquí nórdico se utilizara las marcadas por Anderson et al. (2010) G2, G3 y G4.

El paso G2 es una técnica generalmente utilizada cuesta arriba, caracterizada por un uso asimétrico de la parte superior del cuerpo que realizará un doble empuje de bastón coincidiendo con un impulso de una de las piernas (Myklebust et al., 2014), conformando un paso en el que el lado izquierdo y derecho del cuerpo funcionan de manera asimétrica y asincrónica (Stöggl,

Holmberg, 2015). El lado coincidente con el doble empuje de bastón se le denominará “lado fuerte”, mientras que el que coincide con la recuperación de los batones hasta su posición inicial se le llamará “lado débil” (Stöggl et al., 2015).

El estudio realizado por Andersson et al. (2010) destaca que el rendimiento general de una prueba está relacionado con el tiempo en G2 cuesta arriba. No obstante, Stöggl et al. (2015) destacan el uso de esta técnica en zonas con una inclinación moderada, así como su relación con la G3 para entender y comprender el rendimiento en competición en esquí de fondo.



Imagen 4: G2.

El paso G3 es un paso principalmente utilizado en terreno plano y pendientes moderadas, caracterizado por un doble empuje de bastón en sincronía con cada pierna (Sandbakk, Ettema, Holmberg, 2011b y Myklebust et al., 2014, Sandbakk et al., 2013). En este paso un ciclo englobará un empuje con ambas piernas, y se iniciará y finalizará con el comienzo del doble empuje de bastones (Sandbakk et al., 2011b, Sandbakk et al., 2013).

Como se ha mencionado anteriormente, las zonas de aplicación en circuito dependerán múltiples factores. En su estudio, Andersson et al. (2010) denotaron que una velocidad más alta permitía utilizar más este paso, en vez del G2. Esto además era posible y se veía más marcado si el sujeto tenía una mayor fuerza del tren superior. En su trabajo destacan la participación de un corredor capaz de utilizar únicamente la técnica G3 en subidas, siendo el sujeto más rápido de la prueba.



Imagen 5: G3.

La última técnica es la denominada G4, utilizada principalmente en zonas donde el esquiador adquiere gran velocidad, coordina un doble empuje de brazos por cada dos de piernas, volviéndonos a encontrar como lo hacíamos en la técnica G2 un “lado fuerte” coincidiendo con el empuje de brazos y un “lado débil” con un balanceo de brazos hacia delante (Grasaas, Hegge, Ettema, Sandbakk, 2014).



Imagen 6: G4.



Imagen 7: G4.

De forma conjunta aplicada a la mayoría de los pasos, encontramos una última dimensión que condiciona y afecta a la aplicación de la técnica. Numerosos estudios biomecánicos tratan los aspectos relacionados con la aplicación del ciclo, sus tiempos, distancias, velocidades, etc. (Andersson et al., 2010, Stöggl et al., 2015 Sandbakk et al. 2013 Marsland et al., 2012), no obstante aunque es algo a tener en cuenta a la hora de la aplicación de la técnica, es un tema que requiere de un estudio y análisis específico y que no queda integrado en los objetivos del presente trabajo.

Metodología.

A lo largo del próximo apartado describiremos los procedimientos utilizados a lo largo de todo el estudio englobando, la selección del sujeto, descripción de material utilizado y condiciones tanto de la pista como ambientales, los protocolos de grabación utilizados y los métodos de tratamiento del material gráfico obtenido.

En primer lugar era necesaria la búsqueda de un sujeto para el estudio que garantizara una técnica óptima y que fuera modelo de referencia. Por ello, se seleccionó un sujeto con una participación dentro del alto rendimiento deportivo y con una titulación que garantizara su conocimiento de la técnica deportiva. Todos estos datos están recogidos en el anexo III, un formulario entregado al sujeto para recoger información sobre sus éxitos deportivos, sus rutinas en relación al deporte y su titulación.

Una vez seleccionado al sujeto, se informó y describió el procedimiento y la prueba mediante una hoja informativa (anexo I), tras lo cual firmaron un consentimiento informado (anexo II) en el que daba su consentimiento a la realización de la prueba y aceptaba que conocía el fin y los procedimientos del presente estudio.

Así pues, para la realización del análisis de la técnica, se utilizaron como referencia los protocolos de grabación utilizados en los estudios Sandbakk (2011) y Zory (2009).

En el primer estudio, Sandbakk (2011) define una serie de protocolos también utilizados en otros estudios, sin embargo debido a que este estudio realiza una medición de varios corredores y simula una competición de sprint, muchos de los datos se utilizan para conocer las variables que pueden afectar a los tiempos y velocidad. Debido a que en el presente estudio no se realiza ninguna comparación de sujetos ni se pretende realizar las grabaciones en competición, únicamente nos limitaremos a recoger los datos que definan de forma genérica el entorno y sus variables más genéricas, mediante el uso del anexo IV.

- Condiciones climáticas: tiempo, viento, temperatura y humedad relativa del aire.
- Material utilizado y sus condiciones.
- Ceras de agarre usadas.

El protocolo para la grabación fue extraído del artículo de Zory (2009), en él, se realizó una grabación mediante el uso de una cámara fija, en nuestro caso (Sony, HDR-CX260). Esta se situó a una distancia de 7,9m perpendicular a la pista de esquí de fondo, su eje óptico se colocó a una distancia de 1m sobre el suelo, y la velocidad del obturador se fijó en 1 / 250th segundo. El autor define que en estas condiciones, el campo de visión obtenido es de 12m, permitiendo obtener un ciclo completo sin necesidad de instruir al sujeto.

Sin embargo, la grabación de únicamente un plano, deja limitada la visión y valoración de la técnica, por ello además se realizaron grabaciones no

simultáneas de los planos frontal y anterior mediante el uso de la misma cámara fija, con el obturador a una altura de 1m del suelo.

Como ya hemos definido previamente, las diferentes marchas de la técnica libre o patinador a analizar, son los descritos por Andersson et al. (2010) como G2, G3 y G4. Por su parte, no hay ningún artículo que aglutine las tres técnicas del paso clásico, por ello las nombraremos “diagonal stride”, “double poling” y “double poling with kick”. Ya hemos mencionado que cada paso o marcha se aplica dependiendo la velocidad y adecuándose al terreno, por ello, las zonas de realización de cada paso difieren, principalmente en el grado de inclinación. Por esta razón, el paso G2 debe realizarse en una pendiente, tomaremos la referencia que utiliza Sandbakk (2011) para el establecimiento de su circuito de sprint y desarrollaremos este paso en una pendiente de entre un 5-8%. Los otros dos pasos se podrán desarrollar sin problema en una zona de pendiente 0%. De la misma forma, el estilo clásico desarrollara sus respectivos pasos en las pendientes previamente descritas, siendo el paso “diagonal stride” el de subida, y los otros dos los desarrollados en el llano, pero con la consideración de que deberán realizarse dentro de la caja o huella característica de este estilo.

Conociendo ya la disposición del material, pasamos en desarrollar el protocolo que seguirá el sujeto para las grabaciones. De la misma forma que en otros estudios (Pellegrini 2014) con el fin de conseguir un periodo de adaptación con el material y con el paso a realizar, se permite a los sujetos un periodo de práctica del paso a realizar que se sitúa alrededor de los tres minutos. Tras ello se efectuara una grabación de cada plano 3 veces consecutivas. El orden de los estilos será realizado de forma aleatoria.

Para facilitar el posterior análisis de video, y con el fin de facilitar unos puntos articulares y de referencia fijos, se colocaron unos marcadores anatómicos fijos en las principales articulaciones.

De tal forma que:

- Vista frontal: tubérculo menor del humero (ambos lados), vista frontal de cresta iliaca (zona antero superior), rotula.
- Vista lateral: Troquíter humeral, epicóndilo humeral, apófisis del olecranon, cresta iliaca, trocánter mayor del fémur, epicóndilo lateral del fémur, maleolo.

Una vez obtenido el material visual, se realizó un tratamiento mediante el programa de análisis de video Kinovea[®], con el cual se recogieron los ángulos de las articulaciones a continuación descritas, a lo largo de la evolución de los diferentes pasos:

- Vista frontal: hombro, ángulo formado por la vertical y el largo del esquí, y que tiene como origen la cola del esquí, por ultimo, el punto de caída del peso corporal, obtenido por un ángulo de 90° formado una línea horizontal y otra vertical, esta segunda se hacía coincidir con la posición de la cabeza del sujeto.

- Vista lateral: hombro, codo, cadera, rodilla y tobillo. Además, en los pasos en los que se vio necesario el ángulo formado por la suela de la bota y el largo del esquí y que tiene como origen la zona de unión entre el esquí y la bota en la fijación.

Hay que tener en cuenta que el protocolo utilizado para la recogida y tratamiento de la información solo permite el análisis de un lado del cuerpo. No obstante, quedan recogidos y marcados eventos o acciones realizados por el lado que no es analizado con el fin de relacionar posiciones que pueden ser relevantes.

Varios de los pasos analizados son movimientos cíclicos y simétricos por lo que las acciones que realice el lado del que no se tiene información, posteriormente serán realizadas por la otra parte del cuerpo.

En los casos, en los que el patrón corporal no sea simétrico, el video analizado muestra el paso grabado desde el mismo lado pero estará ejecutado hacia el otro lado, mostrando las acciones que no recogía la anterior filmación.

Resultados.

A continuación se exponen los datos recogidos tras el análisis de los videos. Estos se agrupan por estilos, presentando primero los pertenecientes al estilo clásico y posteriormente los pertenecientes al estilo patinador.

Dentro de los dos estilos encontramos los tres pasos característicos de cada estilo. En cada uno encontramos una serie de tablas que muestran los datos recogidos en el análisis de los videos realizados con Kinovea[®].

Las tablas se organizan de la siguiente forma, en primer lugar una relación entre el tiempo y la acción técnica característica analizada, las siguientes recogen los ángulos de las diferentes articulaciones en los tiempos indicados.

Los planos siempre recogen en primer lugar la vista lateral y posteriormente la frontal.

Estilo clásico.

Diagonal stride.

- Vista lateral.

En primer lugar se expone (tabla 2) la relación entre el tiempo y la acción técnica que ejecuta el sujeto dentro del paso "diagonal stride", vista desde el plano lateral y con una duración del ciclo de 0.9 segundos.

Tabla 2: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "diagonal stride", vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
1.33	Inicio de deslizamiento sobre la pierna izquierda.
1.50	Final de impulso de bastón izquierdo.
1.56	Final de deslizamiento e inicio de recuperación de pierna derecha.
1.80	Inicio de deslizamiento sobre la pierna derecha.
1.86	Final de impulso de pierna izquierda.
1.93	Final de recuperación del bastón izquierdo.
2.00	Inicio de recuperación del esquí izquierdo y momento de contacto del bastón izquierdo en la nieve.
2.23	Inicio de deslizamiento sobre la pierna derecha.

En relación con las acciones técnicas anteriormente definidas, se presenta (tabla 3) los ángulos del tobillo, rodilla y cadera a lo largo de la ejecución del "diagonal stride". Que registra las flexiones de tobillo más acentuadas de todos los pasos. Y un movimiento de deslizamiento de 0.23 segundos sobre la pierna izquierda.

Tabla 3: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "diagonal stride", vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
1.33	63	101	126
1.50	93	139	119
1.56	101	129	119
1.80	63	115	137
1.86	98	131	157
2.00	83	145	179
2.23	76	96	123

Registro (tabla 4) de los ángulos de las articulaciones superiores, hombro y codo, y su relación con el tiempo en el paso "diagonal stride". En el que se registra un tiempo de recuperación del brazo izquierdo de 0.43 segundos.

Tabla 4: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "diagonal stride", vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
1.33	-16	90
1.50	-29	138
1.93	52	76
2.00	51	79
2.23	3	96

- Vista frontal.

Tras el análisis lateral, relación entre el tiempo y la acción técnica realizada por el sujeto en el paso "diagonal stride" (tabla 5), vista desde el plano frontal, en la que se observa una duración del ciclo de 0.87 segundos.

Tabla 5: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "diagonal stride", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
1.86	Inicio recuperación pierna izquierda.
1.90	Final de impulso de bastón derecho.
2.00	Inicio de recuperación de bastón derecho.
2.23	Punto más alto de la recuperación del bastón derecho.
2.26	Clavado del bastón derecho e inicio de recuperación del izquierdo.
2.30	Recuperación pie derecho.
2.43	Inicio de levantamiento de bastón izquierdo.
2.66	Punto más alto de la recuperación del bastón derecho.
2.73	Clavado del bastón izquierdo e inicio de recuperación del esquí izquierdo.

Para finalizar el paso “diagonal stride”, exposición (tabla 6) de la relación entre el tiempo, los ángulos de abducción de los hombros, y la zona de caída del peso. Se observa una disposición del peso a lo largo de todo el paso en la pierna derecha.

Tabla 6: Relación entre el tiempo y ángulos de los hombros derecho e izquierdo, y la zona de caída del peso corporal en el "diagonal stride", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	P. Izquierda	P. Derecha	H. Izquierdo	H. Derecho	Peso
1.86	-	-	45	42	Derecha
1.90	-	-	45	39	Derecha
2.00	-	-	48	34	Derecha
2.23	-	-	36	39	Derecha
2.26	-	-	39	43	Derecha
2.30	-	-	38	32	Derecha
2.43	-	-	36	37	Derecha
2.66	-	-	47	41	Derecha
2.73	-	-	47	47	Derecha

En este paso se observó una mínima rotación que no pudo ser cuantificable tras realizar el impulso y antes del inicio de la recuperación del esquí.

Double polling with kick.

Debido a que este paso no quedaba completamente grabado en una única toma de video, fue necesario el análisis de dos videos para captar todos los gestos técnicos.

- Vista lateral.

Video 1.

En la primera fase queda plasmada la recuperación de la pierna izquierda y su deslizamiento producido por el impulso de la acción combinada de bastones y la pierna derecha.

A continuación la relación (tabla 7) del tiempo y de las acciones de recuperación y deslizamiento de la pierna izquierda del paso "double polling with kick". Incluye una fase que no es observada en ningún otro paso, un contra-movimiento previo al deslizamiento.

- Tabla 7: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "double polling with kick", video 1, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0.43	Inicio de impulso de bastones.
0.80	Final de recuperación de pierna izquierda.
0.90	Final de impulso de bastones.
1.00	Inicio de recuperación de bastones.
1.03	Inicio de contra-movimiento de pierna izquierda.
1.23	Final de contra-movimiento de la pierna izquierda.
1.40	Colocación de los pies a la misma altura.
1.56	Final del impulso de la pierna derecha.
1.70	Final de recuperación de bastones.
1.83	Inicio de recuperación de pierna derecha.
1.90	Inicio de impulso de bastones.

En relación con las situaciones técnicas antes expuestas, relación de los ángulos de la cadera, rodilla y tobillo desde el plano lateral (tabla 8) en el paso "double polling with kick".

- Tabla 8: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "double polling with kick", video 1, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0.43	77	153	180
0.80	81	139	94
0.90	98	137	92
1.00	89	139	108
1.03	86	139	118
1.23	82	147	143
1.40	78	124	122
1.56	89	125	111
1.70	85	133	139
1.83	87	148	144
1.90	79	147	142

Último registro de la fase de recuperación y deslizamiento de la pierna izquierda en el paso "double polling with kick", de los ángulos del hombro y codo (tabla 9).

Tabla 9: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "double polling with kick", video 1, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0.43	55	81
0.80	17	107
0.90	-6	151
1.00	-33	161
1.03	-47	155
1.23	-40	147
1.40	12	128
1.56	64	130
1.70	74	124
1.83	70	88
1.90	67	94

Video 2.

En el segundo video queda recogida parte de la fase restantes, posteriormente se expondrán ciertas limitaciones del estudio que impidieron recoger la fase restante, que englobaría la fase de acción de la pierna derecha desde el inicio de impulso de bastones hasta su final, es decir la recuperación de la pierna izquierda.

Segunda relación de las acciones técnicas relevantes del paso "double polling with kick", desde el plano lateral, que engloba las acciones de impulso de la pierna izquierda y su recuperación (tabla 10).

Tabla 10: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "double polling with kick", video 2, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0.63	Final de impulso de bastones.
0.86	Final de contra-movimiento de la pierna derecha.
1.06	Inicio de impulso de pierna izquierda.
1.23	Final del impulso de la pierna izquierda.
1.33	Final de recuperación de bastones.
1.40	Inicio de recuperación de pierna izquierda.
1.56	Inicio de impulso de bastones.
1.83	Final de recuperación de pierna izquierda.
2.06	Final de impulso de bastones.

En base a las acciones técnicas, exposición de los ángulos de tobillo, rodilla y cadera visto desde el plano lateral (tabla 11).

Tabla 11: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "double polling with kick", video 2, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0.63	94	146	102
0.86	92	147	134
1.06	76	121	112
1.23	80	128	166
1.33	80	154	200
1.40	90	149	194
1.56	86	154	173
1.83	89	140	95
2.06	88	145	111

Relación de las acciones técnicas y el desarrollo de los ángulos de las articulaciones de codo y hombro a lo largo de la evolución de las acciones de impulso y recuperación de la pierna izquierda (tabla 12).

Tabla 12: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "double polling with kick", video 2, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0.63	-21	147
0.86	-61	131
1.06	-8	118
1.23	53	122
1.33	81	117
1.40	77	99
1.56	70	88
1.83	41	104
2.06	-9	117

- Vista frontal.

En la vista frontal se recoge el ciclo que utiliza como fuerza impulsora la pierna derecha. De nuevo, se pudo observar cierto grado de rotación tras finalizar el impulso de la pierna derecha, sin embargo no pudo ser cuantificable.

Recopilación de las principales acciones del paso "double polling with kick", y su relación con el tiempo (tabla 13), desde la vista frontal.

Tabla 13: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "double polling with kick", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
1.86	Final impulso de brazos.
2.10	Inicio recuperación de brazos.
2.46	Inicio impulso pierna derecha.
2.66	Final de recuperación de brazos
2.80	Inicio de impulso de bastones
3.00	Punto intermedio de impulso de brazos.
3.30	Final impulso de brazos.

En base a las acciones técnicas previamente expuestas, relación de los ángulos de los hombros y el punto de caída del peso (tabla 14).

Tabla 14: Relación entre el tiempo y ángulos de los hombros derecho e izquierdo, y la zona de caída del peso corporal en el "double polling with kick", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	P. Izquierda	P. Derecha	H. Izquierdo	H. Derecho	Peso
1.86	-	-	57	57	Centro-derecha
2.10	-	-	67	66	Centro derecha
2.46	-	-	60	41	Centro
2.66	-	-	63	55	Centro
2.80	-	-	46	43	Centro
3.00	-	-	39	48	Centro
3.30	-	-	58	52	Centro

Double polling.

- Vista lateral.

Relación de las principales acciones técnicas en el paso "doblé polling" y el tiempo (tabla 15), con una duración de 1.10 segundos.

Tabla 15: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "double polling", vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0.63	Final impulso de brazos e inicio de recuperación de torso y cadera.
0.76	Inicio de recuperación de bastones.
0.96	Punto medio de recuperación de brazos.
1.13	Recuperación del tronco y cadera.
1.33	Fase final de recuperación de bastones.
1.43	Contacto de bastones con la nieve.
1.53	Inicio de acción de brazos
1.73	Final de impulso de brazos.

A continuación, datos de los ángulos de las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera, vista lateral, destaca el amplio movimiento de flexión de cadera de 88 grados.

Tabla 16: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "double polling", vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0.63	86	129	78
0.76	88	134	100
0.96	85	144	134
1.13	88	157	159
1.33	109	134	152
1.43	95	116	108
1.53	79	123	92
1.73	91	127	71

En la vista lateral de este paso, además de las articulaciones y ángulos previamente establecidos, se observó un sexto ángulo que modificaba de forma importante la posición del cuerpo y la caída del centro de masas, queda representado en la tabla 17.

Tabla 17: Relación entre el tiempo y ángulo formado por la base de la bota y el esquí en el "double polling", vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo formado por la base de la bota y el esquí.
1.33	40
1.43	28

Relación desde la vista lateral de los ángulos de hombro y codo en el paso "double polling" (tabla 18).

Tabla 18: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "double polling", vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0.63	2	140
0.76	-25	148
0.96	-22	118
1.13	19	108
1.33	58	94
1.43	79	88
1.53	71	71
1.73	32	161

- Vista frontal.

En este paso no se observaron rotaciones en las piernas a diferencia de los otros dos pasos del mismo estilo, por ello la variable en este caso queda sin cubrir.

A continuación, se presenta la relación entre las acciones técnicas desde la vista frontal y el tiempo (tabla 19).

Tabla 19: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "double polling", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
2.06	Inicio de impulso de bastones.
2.16	Inicio de acción de brazos.
2.40	Final de impulso de bastones.
2.76	Recuperación completa del tronco.
3.00	Final de recuperación de bastones.
3.06	Inicio de impulso de bastones.

En base a la acciones técnicas anteriormente marcadas, relación entre el tiempo y los ángulos de los hombros y la caída del peso del cuerpo, que en este caso se sitúa en una posición central durante todo el paso.

Tabla 20: Relación entre el tiempo y ángulos de los hombros derecho e izquierdo, y la zona de caída del peso corporal en el "double polling", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	P. Izquierda	P. Derecha	H. Izquierdo	H. Derecho	Peso
2.06	-	-	48	42	Centro
2.16	-	-	48	41	Centro
2.40	-	-	54	58	Centro
2.76	-	-	52	45	Centro
3.00	-	-	52	51	Centro
3.06	-	-	44	45	Centro

Estilo patinador.

G2.

Debido a la naturaleza asimétrica de este paso, fue necesario analizar dos videos diferentes recogiendo el mismo paso realizado por el sujeto hacia los dos lados posibles. Hay que denotar que el lado filmado y analizado siempre es el lado izquierdo, ejecutando una vez la acción como "lado débil" y otra como "lado fuerte".

- Vista lateral: Lado débil.

En primer lugar se expone (tabla 21) la relación entre el tiempo y la acción técnica que ejecuta el sujeto dentro del paso "G2", vista desde el plano lateral y captando el lado débil del paso. Tiene una duración de 1.13 segundos.

Tabla 21: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G2", lado derecho, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
1.23	Inicio de recuperación de bastones.
1.36	Final de impulso de esquí derecho.
1.40	Zona media de recorrido de recuperación de bastones.
1.46	Inicio de recuperación de pierna derecha.
1.76	Punto más alto de la recuperación de bastones.
1.80	Apoyo de pierna derecha y clavado de bastones.
1.93	Final de empuje de pierna izquierda.
2.16	Zona media de recorrido de impulso de bastones.
2.20	Colocación de pie izquierdo a la altura del derecho.
2.36	Apoyo de pie izquierdo en la nieve y final de impulso de bastones.

En relación con las acciones técnicas anteriormente definidas, se presenta (tabla 22) los ángulos del tobillo, rodilla y cadera a lo largo de la ejecución del "G2".

Tabla 22: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "G2", lado derecho, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
1.23	84	129	101
1.36	77	119	104
1.46	79	129	128
1.80	67	129	134
1.93	67	151	150
2.20	79	113	96
2.36	90	118	98

Registro (tabla 23) de los ángulos de las articulaciones superiores, hombro y codo, y su relación con el tiempo en el paso "G2". En el que se registra un tiempo de recuperación del brazo izquierdo de 0.93 segundos.

Tabla 23: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "G2", lado derecho, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
1.23	-44	132
1.40	-30	112
1.76	35	72
1.80	35	94
2.16	4	110
2.36	-36	130

- Vista lateral: lado fuerte.

A continuación la relación (tabla 24) del tiempo y las acciones realizadas por el sujeto, visto desde el lado fuerte del paso "G2" vista lateral.

Tabla 24: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G2", lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
1.06	Inicio de impulso de bastones.
1.16	Final de impulso de la pierna derecha
1.26	Inicio recuperación pierna derecha.
1.43	Final del impulso de bastones.
1.50	Contacto de pierna derecha en la nieve.
1.56	Inicio de recuperación de bastones.
1.70	Final de impulso de pierna izquierda.
2.00	Colocación de pierna izquierda a la altura de la pierna derecha y punto más alto de recuperación de bastones.
2.16	Inicio de impulso de bastones.
2.20	Contacto de pierna izquierda con la nieve.

En base a las acciones previamente marcadas, presentación de los de tobillo rodilla y cadera desde la vista lateral, y su relación con el tiempo (tabla 25).

Tabla 25: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "G2", lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
1.06	86	134	115
1.16	84	118	118
1.26	76	114	119
1.50	59	122	114
1.70	93	146	157
2.00	73	126	121
2.20	80	117	108

Relación de las acciones técnicas y el desarrollo de los ángulos de las articulaciones de codo y hombro a lo largo de la evolución de las acciones del paso G2, vista lateral y acción del lado fuerte (tabla 26).

Tabla 26: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "G2", lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
1.06	8	19
1.43	-12	93
1.56	-17	142
2.00	30	82
2.16	43	46
2.20	46	50

Vista frontal, lado izquierdo.

Relación de las acciones técnicas del paso "G2" desde la vista frontal, con una duración de ciclo de 1.10 segundos (tabla 27).

Tabla 27: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G2", lado derecho, vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
2.43	Momento de apoyo de pierna de deslizamiento e inicio de impulso de bastones.
2.53	Final de impulso de pierna izquierda.
2.63	Inicio de recuperación de pierna izquierda.
2.66	Punto medio de recorrido de impulso de bastones.
2.90	Final del impulso de bastones.
2.96	Momento de contacto de pierna izquierda con la nieve.
3.10	Final de impulso de pierna derecha.
3.13	Recuperación pierna derecha.
3.30	Punto medio de recuperación de bastones.
3.53	Clavado de bastón.

En base a las acciones técnicas expuestas en la anterior tabla, relación de los ángulos de apertura de las piernas, abducción de hombros y zona de caída del peso (tabla 28). Se observa que la principal zona de caída del peso corporal es el lado derecho.

Tabla 28: Relación entre el tiempo y ángulos de los hombros derecho e izquierdo, ángulos de apertura de los esquís y la zona de caída del peso corporal en el "G2", lado derecho, vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	P. Izquierda	P. Derecha	H. Izquierdo	H. Derecho	Peso
2.43	79	72	58	90	Derecha
2.53	81	77	-	-	Derecha
2.63	78	76	-	-	Derecha
2.66	-	-	52	49	Derecha
2.90	-	-	66	40	Centro
2.96	70	75	-	-	Centro-izquierda
3.10	70	75	-	-	Centro-izquierda
3.13	73	75	-	-	Centro-izquierda
3.30	-	-	65	63	Centro
3.53	70	62	57	87	Derecha

G4:

Al igual que con el paso G2, este paso fue filmado orientándolo hacia los dos lados posibles de acción, pero analizando únicamente en ambos casos el lado derecho del cuerpo.

- Vista lateral: lado izquierdo.

Video 1.

Para empezar se expone (tabla 29) la relación entre el tiempo y la acción técnica que ejecuta el sujeto dentro del paso "G4", vista desde el plano lateral, captando todo el proceso de impulso de brazos.

Tabla 29: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G4", video 1, lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0.63	Inicio de impulso de brazos.
0.76	Final de recuperación de la pierna derecha.
1.00	Contacto de pierna derecha con la nieve.
1.03	Final de impulso de bastones.
1.13	Final de impulso de pierna izquierda.
1.20	Inicio de recuperación de bastones.
1.33	Inicio de recuperación de esquí izquierdo.

En relación con las acciones técnicas anteriormente definidas, se presenta (tabla 30) los ángulos del tobillo, rodilla y cadera a lo largo de la ejecución del "G4".

Tabla 30: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "G4", video 1, lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0.63	70	125	141
0.76	73	125	116
1.00	84	114	101
1.13	75	118	113
1.33	80	128	130

Registro (tabla 31) de los ángulos de las articulaciones superiores, hombro y codo, y su relación con el tiempo en el paso "G4". Podemos observar todo el movimiento de impulsión de brazos con una duración de 0.40 segundos.

Tabla 31: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "G4", video 1, lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0.63	35	80
0.76	45	76
1.00	-7	125
1.03	-23	142
1.20	-50	149

Video 2.

La segunda fase del paso queda recogida en las siguientes tablas. Primero se expone (tabla 32) la relación entre el tiempo y la acción técnica que ejecuta el sujeto dentro del paso "G3", vista desde el plano lateral.

Tabla 32: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G4", video 2, lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0.66	Final de recuperación de pierna izquierda.
1.00	Final del impulso de pierna derecha.
1.23	Inicio de recuperación de pierna izquierda y punto más alto de la recuperación de los bastones.
1.46	Inicio de impulso de bastones.

Relacionado con las acciones técnicas anteriormente mostradas, se exponen (tabla 33) los ángulos del tobillo, rodilla y cadera a lo largo de la ejecución del "G4", vistos desde una visión lateral.

Tabla 33: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "G4", video 2, lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0.66	76	139	130
1.00	86	151	144
1.23	77	146	153
1.46	75	131	137

Relación (tabla 34) entre el tiempo y los ángulos de las articulaciones superiores, hombro y codo, y su relación con el tiempo en el paso "G4".

Tabla 34: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "G4", video 2, lado izquierdo, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0.66	-10	116
1.23	61	91
1.46	74	83

- Vista lateral: lado derecho.

La acción del lado derecho del cuerpo se recoge en las próximas tablas. En primer lugar (tabla 35) la relación entre el tiempo y la acción técnica que ejecuta el sujeto dentro del paso "G4", vista desde el plano lateral.

Tabla 35: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G4", lado derecho, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0.53	Inicio de impulso de brazos.
0.83	Apoyo de pierna izquierda en la nieve.
0.86	Final de impulso de brazos.
0.93	Final de impulso de pierna derecha.
1.06	Inicio recuperación de bastones.
1.33	Medio recorrido de recuperación de brazos.
1.56	Final de recuperación pierna derecha.

En relación con las acciones técnicas anteriormente definidas, se presenta (tabla 36) los ángulos del tobillo, rodilla y cadera a lo largo de la ejecución del "G4".

Tabla 36: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "G4", lado derecho, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0.53	77	145	143
0.83	67	131	127
0.93	87	157	150
1.33	67	126	142
1.56	72	123	126

Registro (tabla 37) de los ángulos de las articulaciones superiores, hombro y codo, y su relación con el tiempo en el paso "G4".

Tabla 37: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "G4", lado derecho, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0.53	13	45
0.86	-21	131
1.06	-51	145
1.33	-13	129
1.56	43	115

Vista frontal, lado derecho.

En el análisis de la vista frontal, en primer lugar aparece la relación entre las acciones técnicas del paso G4 y el tiempo (tabla 38).

Tabla 38: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G4", lado derecho, vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
2.43	Final de impulso de brazos.
2.50	Final de impulso de pierna izquierda.
2.60	Inicio de recuperación de pierna izquierda.
2.90	Inicio del cambio de peso del lado derecho al lado izquierdo.
3.06	Contacto con la nieve del pie izquierdo.
3.23	Cambio completo de peso al esquí izquierdo.
3.30	Final del impulso de la pierna derecha.
3.53	Final de recuperación de brazos.
3.70	Inicio de impulso de bastones.
3.93	Contacto con la nieve del pie derecho.
4.00	Final de impulso de brazos.

A continuación, aparece la relación de la apertura del esquí, los ángulos de abducción de los hombros, la zona de caída del peso corporal y el tiempo (tabla 39).

Tabla 39: Relación entre el tiempo y ángulos de los hombros derecho e izquierdo, ángulos de apertura de los esquís y la zona de caída del peso corporal en el "G4", lado derecho, vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	P. Izquierda	P. Derecha	H. Izquierdo	H. Derecho	Peso
2.43	80	55	25	41	Derecha
2.50	84	47	32	41	Derecha
2.60	84	55	-	-	Derecha
2.90	58	59	-	-	Derecha-centro
3.06	60	61	52	36	Izquierda
3.23	52	66			Izquierda
3.30	52	71	61	49	Izquierda
3.53	-	-	62	60	Izquierda-centro
3.70	56	7	55	54	Centro-derecha
3.93	62	39	40	51	Derecha
4.00	64	36	32	45	Derecha

- G3:

Vista lateral: deslizamiento de la pierna derecha

Para el análisis del paso "G3", se expone en primer lugar la relación (tabla 40) de las acciones técnicas principales del paso en la fase de deslizamiento de la pierna derecha y el tiempo, desde una vista lateral.

Tabla 40: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G3", fase de deslizamiento de la pierna derecha, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0:66	Inicio de impulso con la pierna izquierda.
0.83	Final del impulso de bastones.
0.93	Final de impulso de pierna e inicio de recuperación de los brazos.
1.10	Inicio de recuperación de la pierna izquierda.

Atendiendo a la relación previamente establecida, se muestran (tabla 41) los ángulos de tobillo, rodilla y cadera, vistos desde una perspectiva lateral.

Tabla 41: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "G3", fase de deslizamiento de la pierna derecha, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0:66	81	109	110
0.83	86	109	101
0.93	71	114	125
1.10	71	124	132

De nuevo, con el tiempo establecido en la primera tabla, se muestra (tabla 42) una relación entre el tiempo y los ángulos de hombro y codo.

Tabla 42: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "G3", fase de deslizamiento de la pierna derecha, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0:66	16	57
0.83	-9	107
0.93	-28	124
1.10	60	105

Vista lateral: impulso de la pierna derecha.

Relación entre el tiempo y las acciones técnicas en el paso G3 (tabla 43), desde una vista lateral, en la fase de impulso de la pierna derecha.

Tabla 43: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G3", fase de impulso de la pierna derecha, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
0:36	Final de recuperación de la pierna izquierda, inicio de impulso de la derecha y comienzo de la acción de tracción de brazos.
0.56	Apoyo de la pierna que realiza el deslizamiento
0.60	Final de la tracción de brazos.
0.66	Inicio de recuperación de los brazos.
0.76	Final de impulso de la pierna derecha.
1.00	Inicio de recuperación de la pierna derecha.
1.13	Final de la recuperación de bastones e inicio de acción de descenso para llegar al contacto con el suelo.
1.26	Contacto de los bastones con el suelo.
1.36	Recuperación del pie derecho e inicio del impulso de la pierna izquierda.

En relación con las acciones técnicas anteriormente definidas, se presenta (tabla 44) los ángulos del tobillo, rodilla y cadera a lo largo de la ejecución del "G3".

Tabla 44: Relación entre el tiempo y ángulos de tobillo, rodilla y cadera en el "G3", fase de impulso de la pierna derecha, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Angulo del tobillo	Angulo de la rodilla	Angulo de la cadera
0.36	80	146	136
0.56	75	119	120
0.76	95	150	154
1.00	70	134	154
1.36	65	112	106

Registro (tabla 45) de los ángulos de las articulaciones superiores, hombro y codo, y su relación con el tiempo en el paso "G3".

Tabla 45: Relación entre el tiempo y ángulos de hombro y codo en el "G3", fase de impulso de la pierna derecha, vista lateral. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Hombro	Codo
0.36	12	36
0.60	-5	106
0.66	-19	119
1.13	45	111
1.26	54	70
1.36	58	82

Vista frontal.

Recopilación de las principales acciones del paso "G3", y su relación con el tiempo (tabla 46), desde la vista frontal.

Tabla 46: Relación entre el tiempo y acción técnica del paso "G3", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	Acción técnica
3.36	Inicio impulso de pierna izquierda.
3.73	Inicio de tracción de los brazos.
3.97	Apoyo pierna de deslizamiento y final de la tracción de los brazos.
4.03	Final de impulso de pierna izquierda.
4.17	Inicio de recuperación de pierna izquierda
4.47	Final de recuperación de los brazos.
4.53	Final de recuperación de la pierna izquierda y contacto de bastones con el suelo.
4.87	Apoyo de pierna de deslizamiento y final de tracción de brazos.
5.00	Final de tracción de pierna derecha.
5.37	Final de recuperación de brazos.
5.47	Final de recuperación de la pierna derecha y contacto de bastones con el suelo.

Para finalizar, se presenta (tabla 47) la relación entre el tiempo y ángulos de los hombros derecho e izquierdo, ángulos de apertura de los esquís y la zona de caída del peso corporal en el "G3", vista frontal, con una duración total de 2,11 segundos.

Tabla 47: Relación entre el tiempo y ángulos de los hombros derecho e izquierdo, ángulos de apertura de los esquís y la zona de caída del peso corporal en el "G3", vista frontal. Tiempo (ss). Ángulos (grados).

Tiempo	P. Izquierda	P. Derecha	H. Izquierdo	H. Derecho	Peso
3.36	69	61	54	39	Centro
3.73	74	37	53	29	Centro-derecha
3.97	81	61	45	40	Derecha
4.03	79	64	42	59	Derecha
4.17	82	57	43	51	Derecha
4.47	39	64	46	56	Derecha
4.53	50	65	40	52	Centro-derecha
4.87	45	74	64	37	Izquierda-centro
5.00	45	77	57	44	Izquierda
5.37	51	61	55	56	Centro
5.47	54	13	47	35	Derecha

Discusión.

Estilo clásico:

- Diagonal stride:

Análisis del paso.

El diagonal stride es un paso utilizado principalmente en subida que van desde una pendiente moderada hasta empinada, en el que se ejerce una fuerza con los esquís y bastones con un patrón coordinativo parecido al de andar o correr (Pellegrini et al., 2014).

Descripción del paso:

Para la descripción de este paso se tomó como punto de referencia el fotograma 0:00:01:33 de los videos: “alterno lateral tobillo”, “alterno lateral rodilla”, “alterno lateral cadera”, “alterno lateral hombro” y “alterno lateral codo”. El sujeto se sitúa con ambas piernas a la misma altura, las dos tienen una posición igual con una flexión de tobillo, rodilla y cadera, además se observa un ligero ángulo entre la bota y el esquí que proyecta el cuerpo hacia delante. Los brazos por su parte se encuentran en diferentes posiciones, el izquierdo tiene una ligera extensión de hombro y el codo flexionado a 90 grados, el derecho se encuentra en flexión de hombro y flexión de codo. El tronco se sitúa erguido. De forma específica, no hay ningún ángulo que muestre la posición del tranco, sin embargo se puede observar que este se mantiene en una misma posición sin grandes modificaciones.

A partir de este punto, la pierna derecha realizará el movimiento de impulso mientras que la izquierda será la que avance y deslice.

La acción de la pierna izquierda es de extensión de las articulaciones de tobillo y rodilla y flexión de la cadera, hasta finalizar en el fotograma 0:00:01:50. El brazo izquierdo sigue realizando un movimiento de extensión tanto de codo como de hombro, este fotograma coincide con el momento de máxima apertura del tobillo y finaliza el impulso del bastón izquierdo.

A partir de este punto se inicia la recuperación del bastón izquierdo y la pierna izquierda mantiene su posición hasta el fotograma 0:00:01:56, momento en el cual finaliza el deslizamiento, empieza a impulsar y las articulaciones de tobillo y rodilla se flexionan y la cadera se extiende. Esto ocurre hasta el fotograma 0:00:01:80 momento en el cual la pierna derecha queda a la misma altura que la izquierda.

Coincidiendo con el evento del fotograma 0:00:01:56, se puede observar que la pierna derecha a finalizado ya la impulsión y el esquí se ha separado de la nieve, e inicia un movimiento de recuperación.

Ahora, el sujeto se sitúa en la misma posición que la inicial pero las acciones que realiza la pierna izquierda a partir de este punto son las que ya ha realizado la derecha y no hemos podido analizar, y la derecha ejecutará los mismos movimientos que la izquierda hasta el momento. De la misma forma ocurre con los brazos.

A partir del fotograma 0:00:01:80 y hasta el 0:00:01:86 (momento en el cual la pierna izquierda finaliza el impulso y se separa de la nieve) los movimientos del tobillo y la rodilla pasan a ser de extensión, mientras que el movimiento de la cadera sigue siendo de extensión.

El brazo izquierdo, que desde el fotograma 0:00:01:50 sus articulaciones realizaban un movimiento de flexión de hombro y flexión de codo, llega a su punto más alto y finaliza la recuperación en el fotograma 0:00:01:93.

En el fotograma 0:00:02:00, tienen lugar dos eventos principales, la pierna izquierda que desde el momento que se separó de la nieve, su articulación del tobillo realizó una pequeña flexión, mientras que la de rodilla y cadera siguieron aumentando sus ángulos, inicia un movimiento de recuperación. A su vez, el brazo izquierdo entra en contacto con la nieve, sus ángulos apenas han sufrido modificación, simplemente ligera extensión tanto de codo como de hombro.

El gesto finaliza volviendo a la posición inicial en el fotograma 0:00:02:73, con un movimiento de flexión de las tres articulaciones de la pierna, y de extensión de las dos articulaciones del brazo.

De forma específica, se puede encontrar los ángulos en la tabla 2, en la tabla 3 y en la tabla 4.

En el plano frontal se puede observar que el hombro se sitúa con una abducción en torno a los 40° , esta aumentará en los primeros momentos del impulso y la recuperación, y hacia la mitad de ambos recorridos se iniciarán movimientos de aducción que reducirán los ángulos.

No obstante, la vista frontal en este gesto se podría creer poco concluyente, ya que en la posición del cuerpo se mantiene durante todo el movimiento en el lado derecho del cuerpo, sin sufrir apenas oscilaciones. De lo que se puede deducir que la pista puede tener un ligero peralte.

Estos datos quedan recogidos en la tabla 5 y en la tabla 6.

- Double polling with kick.

La información encontrada sobre este paso dentro de la técnica clásica es muy escasa, pocos tienen como objetivo el análisis de este paso. Pellegrini et al. (2014) sí que habla sobre él en su estudio, indicando que es la combinación del double polling con un impulso de la pierna adicional. Además es un paso ejecutado principalmente laderas con una pendiente baja a moderada.

Análisis del paso.

Para la descripción de este paso, fue necesario el análisis de dos videos, ya que aunque dentro de una toma cabe un ciclo del paso, el protocolo no contempla la grabación simultánea de los dos lados. Por lo tanto, se buscó un segundo video en el que los roles de las piernas fueran diferentes a los del primer video. Sin embargo, las posiciones de inicio no coinciden en ambos videos, por lo que parte del paso que posteriormente se indicará no ha quedado registrado.

Para la descripción de este paso se usó en primer lugar los videos “combinado lateral 1 piernas” y “combinado lateral 1 brazos”, utilizando el fotograma 0:00:00:43 como referencia inicial. Éste coincide con el inicio del impulso de bastones, en el que la cadera de la pierna izquierda se sitúa en una posición neutra, la rodilla tiene una ligera flexión al igual que el tobillo. Los brazos por su parte, que realizan un movimiento simultáneo, se sitúan con una flexión de hombro y codo.

Partiendo de esta posición, el recorrido realizado hasta el fotograma 0:00:00:80, momento en el cual la pierna izquierda se coloca a la misma altura que la otra, es de extensión de tobillo, flexión de rodilla y una amplia flexión de cadera. Los brazos que están realizando una acción de impulso durante estos momentos realizan una extensión de hombro y de codo.

El siguiente evento destacable ocurre en el fotograma 0:00:00:90, momento en el cual los bastones pierden el contacto con el suelo y finaliza el impulso de brazos. Para ello, se ha producido una extensión de tobillo y ligera flexión de rodilla y cadera. Los brazos continúan con su movimiento de extensión de hombro y codo.

En el fotograma 0:00:01:00, se inicia la recuperación de los brazos. Hasta este momento, y desde el final del impulso de brazos, se ha producido una flexión de tobillo y extensión de rodilla y cadera, lo que ha conllevado una pequeña elevación del tronco. Los brazos por su parte han continuado su movimiento de extensión, tanto de hombro como de codo.

En el fotograma 0:00:01:03 y hasta el 0:00:01:23, se observa el inicio de un pequeño movimiento de retroceso de la pierna izquierda, antes de lanzarse hace delante en las siguientes imágenes. Podríamos deducir que este movimiento se realiza para conseguir mayor inercia en el deslizamiento. El movimiento de las piernas desde el fotograma 0:00:01:00 y hasta el 0:00:01:23 es de flexión de tobillo y extensión de rodilla y cadera. Los brazos sin embargo, hasta 0:00:01:03 han realizado extensión de hombro y flexión de codo, y en el fotograma 0:00:01:23 se puede observar el movimiento ya de flexión tanto de ambas articulaciones.

El siguiente punto destacable del paso ocurre en el fotograma 0:00:01:40, la pierna izquierda que había retrocedido ha iniciado ya su movimiento hacia delante situándose a la misma altura que la otra pierna. Para ello, las tres articulaciones de la extremidad han realizado un movimiento de flexión. Los brazos continúan con el movimiento de recuperación, situándose por delante del tronco, mediante la flexión de hombro y codo.

Desde este punto, y hasta el fotograma 0:00:01:56, se observa claramente el movimiento de impulso de la pierna derecha hasta que se despega del suelo, mientras tanto, sobre la pierna izquierda desliza el cuerpo del sujeto. Durante este tiempo, la pierna izquierda ha realizado un movimiento de extensión de tobillo y rodilla, y flexión de cadera. El torso, aunque no se puede valorar específicamente, no varía apenas su posición. Los brazos continúan ascendiendo, preparándose para el próximo impulso, flexionando el hombro y extendiendo levemente el codo.

Hay que destacar, llegados a este punto, que desde el fotograma 0:00:01:56, (momento en el que finaliza el impulso de la pierna derecha) y hasta el fotograma 0:00:01:90 (que se iniciará el impulso de bastones), el sujeto deslizará sobre el esquí izquierdo y sus acciones irán encaminadas a la colocación de los bastones para el nuevo impulso y a la recuperación de la pierna derecha para posteriormente deslizar sobre esta.

De vuelta a la secuencia del paso, el movimiento de recuperación de bastones finaliza en el fotograma 0:00:01:70, durante este tiempo la pierna izquierda ha realizado una flexión de tobillo y extensión de rodilla y cadera. En los brazos se observa que, aunque la flexión de hombro ha continuado, se ha vuelto a realizar una pequeña flexión de codo.

En el fotograma 0:00:01:83, se recoge el momento en el que la pierna derecha inicia su recuperación. El movimiento de la pierna izquierda durante este tiempo ha sido de extensión de todas sus articulaciones. Los brazos mientras tanto, han iniciado un movimiento de descenso aunque no han entrado aun en contacto con la nieve, para ello se ha producido una extensión de hombro y una flexión bastante marcada de codo.

El ultimo evento destacable de este video, es el momento de contacto de los bastones con la nieve, en el fotograma 0:00:01:90. La pierna izquierda realiza una pequeña flexión de tobillo, rodilla y cadera; mientras que en los brazos continua la extensión de hombro y se inicia al del codo.

La segunda parte del paso se analiza utilizando los videos “combinado lateral 2 piernas” y “combinado lateral 2 brazos”. Como se ha comentado previamente, hay una parte del paso que no quedó registrada, y es la fase de recuperación de la pierna derecha hasta la altura de la izquierda, y la acción de brazos que se realizaba en ese momento que coincide con el gesto de impulso de brazos, ya que el análisis de este video se inicia en el fotograma 0:00:00:63, momento en el cual se produce el final del impulso de bastones.

En este momento, la posición de las articulaciones de la pierna izquierda es de ligera extensión de tobillo, flexión de rodilla y flexión de cadera. Los brazos se encuentran en extensión de hombro y flexión de codo.

El fotograma 0:00:00:86, marca el instante en el que la pierna derecha ha finalizado el contra-movimiento e iniciará el deslizamiento. La pierna izquierda comienza el impulso, ya que hasta ahora únicamente ha realizado una extensión de cadera. Los brazos continúan hacia la extensión de hombro llegando de esta forma a su punto más alejado, y se inicia la flexión del codo.

A continuación se observa claramente el comienzo del impulso de la pierna izquierda en el fotograma 0:00:01:06, las piernas ya se sitúan a la misma altura y los brazos se encuentran por delante del cuerpo. Para ello se ha producido una flexión de las tres articulaciones de la pierna y la flexión del hombro y codo.

Durante los momentos siguientes, se produce el movimiento de impulsión de la pierna izquierda, hasta el fotograma 0:00:01:23, donde el esquí izquierdo empezará a separarse del suelo. Durante la fase de impulsión se extienden las

articulaciones de tobillo, rodilla y cadera. Mientras tanto, los brazos continúan su flexión de hombro y ligera extensión de codo.

Una vez finalizado el impulso de la pierna izquierda, y como ya se ha descrito en la primera parte del paso, el sujeto no realizará un nuevo impulso hasta el fotograma 0:00:01:56, momento en el cual los bastones tomarán contacto con el suelo. Hasta ese momento se acabará de recuperar los brazos, la pierna finalizará el movimiento que realiza en el sentido de impulsión e iniciará el movimiento de retorno. A continuación se describen de forma específica estas fases.

En el fotograma 0:00:01:33 los bastones llegan a su altura máxima, para ello han realizado una flexión de hombro y de codo desde el último punto de referencia. La pierna izquierda por su parte sigue con una trayectoria en el sentido de impulsión realizando extensión de rodilla y cadera y manteniendo el ángulo de flexión de tobillo.

El inicio de la recuperación de la pierna izquierda se observa en el fotograma 0:00:01:40, para llegar a este punto el tobillo ha realizado un movimiento de extensión y la rodilla y cadera se han flexionado. Los brazos empiezan a descender mediante una extensión de hombro y flexión de codo.

Finalmente, el sujeto regresa a la posición inicial en el momento en el que los bastones entran de nuevo en contacto con el suelo. Para ello continua el movimiento de extensión de hombro y flexión de codo. La pierna izquierda por su parte sigue la trayectoria de regreso a la posición inicial mediante la flexión del tobillo y la cadera, y un leve movimiento de extensión de rodilla.

Todos los movimientos descritos a lo largo del paso se pueden encontrar desarrollados de forma más específica en la tabla 7, la tabla 8, la tabla 9, la tabla 10, la tabla 11 y la tabla 12.

El análisis de la vista frontal muestra un cambio del peso sobre la pierna que ejecuta la impulsión para después regresar al centro. Los brazos por su parte se sitúan con un ángulo de 57 grados de abducción al finalizar el impulso de brazos, este ángulo oscila en los dos brazos durante la recuperación, aumentando en el izquierdo y reduciéndose en el derecho hasta el momento del impulso, que vuelve a reducirse durante la primera fase de impulso y hasta la zona más baja de la trayectoria.

Estos datos pueden observarse en las tabla 13 y en la tabla 14.

- Double polling.

Este paso es descrito por Pellegrini et al. (2014) como un movimiento simétrico de brazos como principal acción propulsora y reforzado por una flexión de tronco, en el que la participación de las piernas es mínima. Es utilizada principalmente en pistas llanas y a las velocidades.

No obstante en su estudio Zory, Vuillerme, Pellegrini, Schena y Rouard (2009), y como hemos podido comprobar en el presente estudio, el cuerpo en este paso actúa como una cadena en la que los músculos se involucran de forma

secuencial, empezando por el tronco y flexores de la cadera, seguido por los extensores del hombro y codo.

Análisis del paso.

Para el análisis de este paso se tomará como punto de referencia el fotograma 0:00:00:63 de los videos “empuja lateral piernas” y “empuja lateral brazos”, la posición de partida obedece al momento en el que los bastones se separan del suelo debido al final del impulso de brazos.

El sujeto se sitúa con ambas piernas a la misma altura, con una posición neutra de tobillo, flexión de rodilla y flexión de cadera, lo que hace descender el tronco. Los brazos por su parte se sitúan en una posición casi neutra de hombro, una ligera flexión de 2 grados, y flexión de codo.

A partir de este momento y hasta el fotograma 0:00:00:76, momento en el cual se inicia la recuperación de los brazos, se ha producido una ligera extensión de tobillo y rodilla, y una extensión más marcada de cadera, lo que provoca una elevación del tronco. Los brazos por su parte han seguido aumentando tanto la extensión de hombro como de codo.

El fotograma 0:00:00:96 coincide con el paso de los brazos a la altura del cuerpo. En este punto el tobillo ha realizado una ligera flexión, mientras que la rodilla y la cadera han seguido extendiéndose elevando casi el tronco hasta la vertical. Los brazos que siguen realizando un movimiento de recuperación, no han alterado apenas el ángulo del hombro que sigue ejecutando un movimiento lento de flexión, pero sí el del codo, que se ha flexionado a mayor velocidad.

En el fotograma 0:00:01:13 la posición del cuerpo es prácticamente erguida, los tobillos han realizado un ligero movimiento de extensión, y la rodilla y la cadera han seguido aumentando sus ángulos hacia la extensión. Los brazos han realizado una flexión tanto de hombro como de codo.

Desde el fotograma 0:00:01:13 hasta el 0:00:01:33, se produce un rápido movimiento que finaliza con la elevación de los brazos hasta su punto más alto. Esto permite que aparezca un nuevo ángulo entre la bota y el esquí que proyecta todo el cuerpo hacia arriba y hacia delante, además la articulación del tobillo se extiende, y la rodilla y la cadera empiezan a flexionarse. Los brazos llegan al punto de más altura realizando desde la posición anterior una flexión de hombro y de codo.

El siguiente evento destacable ocurre unas décimas de segundo después, en el fotograma 0:00:01:43, momento en el cual los bastones entran en contacto con el suelo. Sigue apareciendo el ángulo entre el esquí y el pie, aunque ha disminuido, el tobillo ha pasado a acompañar en el movimiento de flexión a la rodilla y a la cadera. En los brazos tanto el hombro como el codo han aumentado su flexión.

El fotograma 0:00:01:53, marca el momento en el que se inicia de forma más acentuada la acción de los brazos para el impulso de este paso, ya que hasta este momento el hombro apenas ha realizado movimiento de extensión y el codo ha seguido flexionándose. Mientras tanto, las piernas han realizado una

flexión de tobillo y cadera, y una extensión de rodilla, lo que contribuye al descenso del tronco.

Finalmente, el cuerpo regresa a la posición inicial en el fotograma 0:00:01:73, mediante extensión de tobillo y rodilla, y flexión de cadera. Mientras que los brazos continúan con extensión de hombro y de codo.

De forma específica todos los ángulos quedan recogidos en la tabla 15, en la tabla 16, en la tabla 17 y en la tabla 18.

La vista frontal muestra que partiendo de un ángulo de 48 y 42 grados de abducción en los hombros, se produce una disminución del ángulo en los primeros instantes del impulso para después aumentar hacia la fase final del impulso y se reduce en la recuperación de los brazos. El peso por su parte se sitúa siempre en una posición central.

Estilo patinador:

- G2.

Como ya se ha mencionado, este paso se considera una técnica de avance para secciones de pendiente cuesta arriba, y es caracterizado por un impulso de brazos, asimétrico y asincrónico, por cada dos impulsos de piernas (Myklebust et al., 2014).

Análisis del paso.

Debido a que esta técnica no es simétrica fue necesario el análisis de dos videos. Uno en el que el sujeto orientaba el lado fuerte del paso hacia la cámara y otro en el que quedaba filmado el lado débil.

Los videos “asimétrico derecha lateral tobillo”, “asimétrico derecha lateral rodilla”, “asimétrico derecha lateral cadera”, “asimétrico derecha lateral hombro” y “asimétrico derecha lateral codo”, recogen la ejecución del lado débil hacia la cámara. Se tomará como imagen de referencia inicial el fotograma 0:00:01:23, en el que el sujeto inicia la fase de recuperación de los brazos. La posición de las articulaciones es la siguiente, en la pierna izquierda el tobillo, la rodilla y la cadera se encuentran flexionadas. El brazo izquierdo se sitúa con una extensión de hombro y una ligera flexión de codo.

Durante este tiempo, es la pierna derecha la que realiza la acción propulsora hasta el fotograma 0:00:01:36, momento en el cual el esquí se separa del suelo. Mientras tanto, la pierna izquierda realiza una flexión de tobillo y rodilla, la cadera inicia un movimiento de extensión.

El fotograma 0:00:01:40, coincide con el punto en el que el bastón izquierdo se sitúa a la altura del cuerpo, continuando con el movimiento de flexión de hombro y de codo.

La pierna derecha que continuaba con la trayectoria de impulsión inicia su recuperación en el fotograma 0:00:01:46, la pierna izquierda mientras tanto ha realizado una extensión del tobillo, rodilla y cadera.

Desde la separación de la pierna derecha del suelo, el deslizamiento se realiza sobre la pierna izquierda que en un punto intermedio pasa también a impulsar. La pierna derecha se recupera y se adelanta a la otra que contacta con la nieve en el fotograma 0:00:01:80, a su vez toman contacto con el suelo los bastones, iniciando el impulso de brazos. Previamente a este suceso, en el fotograma 0:00:01:76 los bastones llegan a su posición más alta. Se analiza ahora los movimientos que realizan ambas extremidades.

Del fotograma 0:00:01:46 hasta el fotograma 0:00:01:80 la pierna izquierda realiza una flexión de tobillo, la rodilla mantiene su ángulo y la cadera realiza un movimiento de extensión.

El brazo izquierdo, desde el fotograma 0:00:01:40 al 0:00:01:76 realiza un movimiento de flexión de hombro y codo. Tras alcanzar el punto más alto de elevación de los brazos, estos descienden hasta tocar el suelo con una extensión de codo, el hombro se mantiene con el mismo ángulo.

La pierna izquierda continua la fase de impulsión hasta el fotograma 0:00:01:93, mediante una extensión de rodilla y cadera, el tobillo mantiene su ángulo de flexión.

Los brazos desde su contacto en la nieve realizan el movimiento de impulsión, en el fotograma 0:00:02:16 se encuentran a mitad de recorrido. Para ello, el hombro y el codo izquierdo continúan con un movimiento de extensión.

Tras finalizar la impulsión, la pierna izquierda inicia el movimiento de recuperación, en el fotograma 0:00:02:20 está situada a la misma altura que la pierna derecha. Para ello, el tobillo ha realizado un movimiento de extensión, y la rodilla y cadera se han flexionado.

Finalmente el movimiento acaba en el fotograma 0:00:02:36, momento en el cual, la pierna izquierda entra en contacto con la nieve y finaliza el impulso de brazos. La pierna desde el fotograma 0:00:02:20 ha ejecutado un movimiento de extensión de tobillo, rodilla y cadera. El brazo izquierdo, desde el fotograma 0:00:02:16, ha continuado con un movimiento de extensión de el hombro y el codo.

Todos estos datos se encuentran reflejados de forma precisa en la tabla 21, en la tabla 22 y en la tabla 23.

A continuación se realizó el análisis del lado fuerte recogido en los videos “asimétrico izquierda lateral tobillo”, “asimétrico izquierda lateral rodilla”, “asimétrico izquierda lateral cadera”, “asimétrico izquierda lateral hombro” y “asimétrico izquierda lateral codo”, se tomará como punto de partida el fotograma 0:00:01:06 en el que el sujeto inicia la propulsión con los bastones y el esquí izquierdo toma contacto con la nieve. La disposición de las articulaciones de la pierna izquierda son las siguientes, ligera flexión de tobillo, flexión de rodilla y cadera. El brazo izquierdo se coloca por delante del torso con flexión de hombro y codo.

El brazo izquierdo realizó un movimiento de impulsión hasta el fotograma 0:00:01:43, momento en el que el bastón se despega del suelo. La acción de

sus articulaciones durante este recorrido es de flexión de hombro y extensión de codo.

La pierna izquierda mientras tanto realiza los siguientes movimientos. Cuando la pierna derecha finaliza el impulso en el fotograma 0:00:01:16, la pierna izquierda se encuentra deslizando, desde el fotograma inicial sus articulaciones de tobillo y rodilla se han flexionado y la cadera se ha empezado a extender. Tras ello, y hasta el inicio de la recuperación de la pierna derecha en el fotograma 0:00:01:26, el tobillo y la rodilla continúan con el movimiento de flexión, mientras que la cadera empieza a extenderse.

En el fotograma 0:00:01:50 se produce el contacto del esquí derecho en la nieve, el esquí izquierdo por tanto, aunque no se distingue con claridad, ya ha iniciado su fase de impulsión y sus articulaciones han realizado los siguientes movimientos. El tobillo y la cadera se han flexionado, y la rodilla se ha extendido.

El brazo izquierdo continua realizando un movimiento de impulsión hasta el fotograma 0:00:01:56, con la extensión del hombro y el codo, en este momento finaliza la impulsión y los batones se levantan del suelo para empezar a recuperarse.

La pierna izquierda finaliza la impulsión en el fotograma 0:00:01:70, momento en el cual el esquí se levanta del suelo. Las tres articulaciones de la pierna han realizado un movimiento de extensión.

En el fotograma 0:00:02:00, hay dos eventos principales, la pierna izquierda se ha situado a la misma altura que la derecha mediante un movimiento de flexión de tobillo, rodilla y cadera. En este mismo momento el brazo izquierdo llega al punto más alto de su recuperación mediante una flexión de hombro y de codo.

El contacto, y por consiguiente el inicio de impulso de bastones se realiza en el fotograma 0:00:02:16, este se produce principalmente por la acción de flexión del codo y un descenso del tronco, ya que el hombro continua flexionándose.

Finalmente se vuelve a la posición inicial en el fotograma 0:00:02:20, momento en el cual la pierna izquierda toma contacto con la nieve. Para ello ha realizado una extensión de tobillo y una flexión de rodilla y cadera. El brazo izquierdo por su parte no ha variado prácticamente su posición.

Los datos descritos pueden analizarse en mayor detalle en la tabla 24, la tabla 25 y la tabla 26.

El análisis frontal del paso revela que hay una serie de rotaciones que no se han podido cuantificar, no obstante mediante la toma de referencias indirectas sí que se puede determinar si se realizan rotaciones internas o externas.

De forma general se puede observar que los movimientos de impulso abren los ángulos hacia una rotación externa, mientras que en los movimientos de recuperación y deslizamiento los ángulos tienden a cerrarse.

Se puede intuir que esto es así para favorecer un mejor apoyo en el impulso, y optimizar el avance en un vector de dirección lo más cercano al sentido de la pista en el deslizamiento.

El análisis del video “asimétrico frontal” realizado al sujeto desde una vista frontal, revela un movimiento de brazos asimétrico, en el que el lado fuerte del paso es el lado derecho, se observa que en el inicio del impulso en el fotograma 0:00:02:43, el brazo derecho tiene un ángulo de abducción de 90 grados, mientras que el izquierdo se sitúa a 58. Además se puede ver que la mano derecha se encuentra por encima del hombro a la altura de la cabeza.

El movimiento de los brazos hasta el fotograma 0:00:02:66, es de aducción en los dos lados. Sin embargo, se puede observar que la mano ha descendido y se sitúa a la altura del codo, lo que sugiere un movimiento de rotación interna de hombro que no se puede cuantificar con esta metodología.

En el fotograma 0:00:02:90, el movimiento de aducción del hombro derecho se ha mantenido, mientras que el izquierdo ha pasado a ser de aducción.

Desde este punto y hasta el fotograma 0:00:03:53, que coincide con la posición inicial, el ángulo del brazo izquierdo prácticamente no varía, Mientras que el hombro derecho realiza un claro movimiento de abducción acompañado de una rotación externa de hombro no cuantificable.

Por último, se observa que el peso prácticamente no se coloca en el lado débil, permanece encima del esquí derecho mientras este desliza, se sitúa en una posición central al finalizar el impulso de bastones, y se coloca en una posición intermedia entre el centro y la pierna izquierda mientras esta desliza para volver a situarse en la pierna derecha en el momento de clavado de los bastones.

Se puede analizar esta información de forma más detallada en la tabla 27 y la tabla 28.

- G3.

Como coinciden en sus estudios Myklebust et al. (2014) y Sandbakk et al. (2011b), es un paso simétrico en el que hay una acción de brazos por cada impulso de pierna.

Esta acción de brazos, se asemeja mucho a la del double polling en el estilo clásico, ya que como indica Myklebust et al. (2014), se producen pequeños cambios en la primera fase de la acción en las articulaciones de codo y hombro, produciendo el mayor impulso del torso mediante la acción combinada de cadera y rodilla.

Otro factor común con este paso, es el mayor movimiento vertical para el impulso de brazos con el fin de aumentar las fuerzas polares (Sandbakk, Leirdal y Ettema, 2014)

Análisis del paso.

Para el análisis de este paso fue también necesario el uso de dos videos, uno que captó la fase de deslizamiento con la pierna derecha, y un segundo en el que se analiza la fase de impulso.

En primer lugar, se describe la fase de deslizamiento mediante el análisis de los videos "1-1 lateral 2 der. des. tobillo", "1-1 lateral 2 der. des. rodilla", "1-1 lateral 2 der. des. cadera", "1-1 lateral 2 der. des. hombro" y "1-1 lateral 2 der. des. codo". Se toma como posición de referencia la imagen del fotograma 0:00:00:66, momento en el que la pierna derecha se sitúa a la altura de la izquierda tras finalizar la recuperación tras el impulso. La posición de las piernas es de flexión de tobillo, rodilla y cadera. El brazo derecho se sitúa con una flexión de hombro y codo.

A partir de este punto se produce una extensión de tobillo, se mantiene el ángulo de flexión de rodilla y se produce una flexión de cadera hasta llegar al fotograma 0:00:00:83, momento en el que el esquí derecho toma contacto con el suelo. El brazo derecho mientras tanto ha realizado un movimiento de extensión de hombro y de codo y finaliza el impulso perdiendo el contacto con la nieve.

Durante la fase de impulso de la pierna izquierda se observa un movimiento de la pierna derecha de, flexión de tobillo y extensión de rodilla y cadera, hasta que la pierna izquierda finaliza su impulso en el fotograma 0:00:00:93. En este punto el brazo derecho se ha situado a la altura de la cadera mediante un movimiento de extensión de hombro y codo, hasta este momento ha seguido la trayectoria de impulso y ahora inicia la recuperación para realizar un nuevo impulso.

Desde que finaliza el impulso la pierna izquierda, el cuerpo se apoya y desliza únicamente sobre la pierna derecha que hasta el fotograma 0:00:01:10, momento en el que la pierna izquierda comienza a recuperarse, ha mantenido su flexión de tobillo y continua con los movimientos de extensión de rodilla y cadera. El brazo derecho se sitúa a mitad de recorrido de recuperación realizando una flexión de hombro y de codo.

El análisis de la segunda parte del paso mediante los videos "1-1 lateral 3 der. emp. tobillo", "1-1 lateral 3 der. emp. rodilla", "1-1 lateral 3 der. emp. cadera", "1-1 lateral 3 der. emp. hombro" y "1-1 lateral 3 der. emp. codo", inicia el análisis cuando la pierna izquierda se sitúa a la misma altura que la derecha, finalizando así su recuperación, esto ocurre en el fotograma 0:00:00:36. Para llegar a esta posición la pierna derecha ha realizado un movimiento de extensión de tobillo, rodilla y cadera. Los brazos comienzan a su vez el movimiento de impulso, para ello han realizado un movimiento de flexión de hombro y codo.

A partir de esta colocación, la pierna derecha ejecuta un movimiento de flexión de tobillo, cadera y rodilla, hasta que se produce el contacto de la pierna izquierda con la nieve en el fotograma 0:00:00:56. Momentos después, en el fotograma 0:00:00:60, finaliza el impulso de los batones que han realizado un movimiento de extensión de hombro y codo.

Tras seguir unos instantes con la trayectoria en la dirección del impulso mediante un movimiento de extensión de hombro y codo, inician la recuperación de bastones en el fotograma 0:00:00:66.

La pierna derecha ha continuado realizando un movimiento de impulso mediante la extensión de todas sus articulaciones hasta el fotograma 0:00:00:76, que el esquí empieza a perder contacto con la nieve. Continúa con la trayectoria que llevaba hasta ese momento pero se observa cierto movimiento de flexión de tobillo y rodilla, mientras que la cadera mantiene su ángulo. Esto ocurre hasta el fotograma 0:00:01:00.

Instantes después, los brazos finalizan la recuperación y llegan al punto más alto de su recorrido, cercanos a la altura de la cabeza. Para ello, han realizado un movimiento de flexión de hombro y codo que finaliza en el fotograma 0:00:01:13, para posteriormente iniciar una rápida fase de descenso con una extensión de hombro y flexión de codo que finaliza en el fotograma 0:00:01:26.

El movimiento finaliza volviendo a la posición inicial, momento en el que acaba la recuperación de la pierna derecha, situándose a la misma altura que la izquierda. Para ello se ha producido una flexión de todas las articulaciones de la pierna. Los bastones inician los primeros momentos de la impulsión, pero por lo que se deduce una acción predominante del torso como ocurría en el double polling, ya que los ángulos tanto del hombro como del codo producen movimientos de extensión y flexión respectivamente.

Toda esta información queda especificada de forma más detallada en la tabla 43, la tabla 44 y la tabla 45.

El análisis de los videos "1-1 frontal 1", que recoge la vista frontal del paso, aporta la información de tres datos importantes.

El primero, como ocurrió con el G2, es el ángulo de apertura de los esquís. En la tabla no se recoge el ángulo real de apertura, sino una medida indirecta, gracias a la cual se puede ver que el ángulo de apertura del esquí aumenta en las fases de impulsión debido a una rotación externa, y se reduce en las fases de recuperación y deslizamiento.

Los brazos se sitúan en un ángulo de abducción en torno a los 50 grados, no se observa un patrón claro de acción de forma genérica el ángulo se reduce en las fases de impulso y se abre en las de recuperación. Aunque no se observa un patrón claro.

Por último, el peso del cuerpo oscila y cambia hacia el lado de la pierna que realiza el deslizamiento. Este cambio se ve de forma más clara cuando la pierna que realiza el deslizamiento es la derecha.

Estos datos se pueden observar de forma más clara en la tabla 46 y la tabla 47.

- G4.

En esta técnica encontramos un impulso sincrónico con los impulsos de una pierna y un balanceo durante la fase de impulso de la otra pierna (Grasaa et al., 2014).

Análisis del paso.

Para el análisis de este paso fue necesario el uso de tres videos, ya que el ciclo era demasiado amplio para entrar en su totalidad dentro de una filmación y era necesario observar el paso por ambos lados ya que no es un paso de ejecución simétrica.

No obstante, aunque la descripción de un lado está completa, falta el final del otro lado que posteriormente se especificará.

El análisis comienza en el video “2-1 lateral izq 1”, se toma como punto de partida en el momento que se inicia la acción de brazos, en el fotograma 0:00:00:63. La posición inicial es, en la pierna derecha de flexión de tobillo rodilla y cadera, el brazo derecho se posiciona con una flexión de hombro y codo.

A partir de esta posición la pierna derecha continua su recuperación hasta posicionarse a la misma altura que la izquierda, mediante una flexión de cadera, la posición de la rodilla no varía y el tobillo se mueve unos grados hacia la extensión. La acción de impulso del tren superior se deduce que se produce en gran medida por acción del tronco, ya que el ángulo de flexión del hombro aumenta tanto en el hombro como en el codo (fotograma 0:00:00:75).

Tras finalizar la recuperación, la pierna derecha se adelanta para realizar el deslizamiento, en el fotograma 0:00:01:00 entra en contacto con la nieve. Para ello ejecuta una extensión de tobillo y una flexión de rodilla y cadera. Los bastones continúan con el impulso, se observa una mayor participación de los brazos que realizan un movimiento amplio de extensión de hombro y codo.

Este movimiento continua hasta el fotograma 0:00:01:03, que finaliza el impulso de bastones, y estos se separan del suelo. El movimiento finaliza mediante una extensión de hombro y codo.

El impulso de la pierna izquierda finaliza en el fotograma 0:00:01:13, la pierna derecha poco a poco ha ido colocándose para soportar el peso de todo el cuerpo y continuar con el deslizamiento sin otro punto de apoyo. Para ello, ha ejecutado un movimiento de flexión de tobillo y ligera extensión de rodilla y cadera.

Los brazos hasta el fotograma 0:00:01:20, han continuado con la trayectoria de impulso e inician en ese momento la recuperación. Durante este periodo, el brazo derecho ha realizado un movimiento de extensión de hombro y codo.

La última acción recogida en este video, se sitúa en el fotograma 0:00:01:33. En ella se inicia la fase de recuperación de la pierna izquierda. Durante este tiempo, el cuerpo continúa el deslizamiento sobre la pierna derecha que ha realizado una extensión de sus tres articulaciones.

El análisis del paso continúa en el video “2-1 lateral izq 2” en el fotograma 0:00:00:66. En este punto la pierna izquierda ha finalizado su recuperación, situándose a la misma altura que la pierna derecha. Durante este tiempo, las articulaciones de la pierna derecha han realizado movimiento de flexión de

tobillo, extensión de rodilla y la cadera ha mantenido su posición. Los brazos se sitúan por delante del torso, en un movimiento de flexión de hombro y codo.

En el fotograma 0:00:01:00 la pierna derecha finaliza el movimiento de impulsión y se separa del suelo. Durante esta fase el movimiento de la pierna ha sido de extensión de todas sus articulaciones.

Tras el final del impulso de la pierna derecha, el cuerpo se encuentra deslizando sobre la pierna izquierda. Durante parte de esta fase de deslizamiento la pierna derecha continua con la trayectoria que seguía durante la impulsión hasta el fotograma 0:00:01:23, que inicia la recuperación. En esta fase las articulaciones de la pierna derecha han realizado un movimiento de flexión el tobillo y la rodilla, mientras que la cadera se ha continuado extendiendo. Los brazos en este momento finalizan la recuperación, y se encuentran en el punto más alto, para ello han ejecutado un movimiento de flexión de hombro y codo.

El análisis de este lado del paso finaliza en el fotograma 0:00:01:46, volviendo a la situación inicial, Donde se inicia la fase de impulsión de bastones. Para llegar a ella, se ha producido una ligera extensión del tobillo derecho, y la flexión de la rodilla y la cadera para situar la pierna derecha a la misma altura que la izquierda, Los brazos han descendido, de tal forma que se puede observar un movimiento de flexión de hombro y codo, por lo que se deduce que el movimiento de descenso se produce por un descenso del torso.

A continuación se recoge el paso filmado desde el mismo lado, por lo que la información analizada pertenece a la misma pierna, pero ejecutando el paso hacia el otro lado.

Hay que destacar que de este lado solo se posee información de la fase de impulso y recuperación de la pierna derecha, pero no de su deslizamiento. Ya que posteriormente al analizar los videos se observo que el paso se ejecuto a gran velocidad y no quedaba recogido completamente en la filmación.

El video utilizado para el análisis de este lado del paso es el video “2-1 lateral derecha 3”, se inicia su análisis en el fotograma 0:00:00:53, coincidiendo con el inicio de impulso de bastones. La pierna derecha que es la única extremidad inferior en apoyo y sobre la que el cuerpo esta deslizando en estos momentos se sitúa en una posición de flexión de tobillo rodilla y cadera. El brazo derecho, que acaba de tomar contacto con el suelo, se encuentra en flexión de hombro y codo.

A partir de este momento la pierna derecha ejecuta un movimiento de impulsión y se eleva del suelo en el fotograma 0:00:00:83. Los brazos continúan con el movimiento de impulsión, y la extremidad superior derecha ha realizado una extensión de hombro y codo.

Momentos después, en el fotograma 0:00:00:86, finaliza el impulso de bastones continuando con el movimiento de extensión de hombro y codo.

La pierna derecha finaliza su impulso en el fotograma 0:00:00:93, mediante una extensión de todas sus articulaciones, perdiendo de esta forma el contacto con el suelo.

De esta forma, el único contacto con el suelo en estos momentos es la pierna izquierda, sobre la que ahora está descansando todo el cuerpo.

El comienzo de la recuperación de los brazos se inicia en el fotograma 0:00:01:06, que han continuado con el movimiento de extensión de hombro y codo. La pierna derecha mientras tanto está realizando el movimiento de recuperación para situarse a la misma altura que la izquierda.

El movimiento de recuperación de los brazos sobrepasa el tronco en el fotograma 0:00:01:33, mediante la flexión de hombro y codo. La pierna se sitúa cerca de la pierna derecha mediante un movimiento de flexión de todas sus articulaciones.

El análisis de este video acaba con el final de la recuperación de la pierna derecha, situándose a la misma altura que la izquierda mediante un movimiento de flexión de rodilla y cadera, y una ligera extensión de tobillo. Los brazos aun no han llegado a finalizar la recuperación, y se sitúan a una altura de mitad del torso mediante la flexión del hombro y codo.

Se puede observar de forma más detallada esta información en la tabla 29, la tabla 30, la tabla 31, la tabla 32, la tabla 33, la tabla 34, la tabla 35, la tabla 36 y la tabla 37.

El análisis de la vista frontal capta el paso utilizando como lado fuerte el lado derecho. Para ello se utiliza el video "2-1 frontal derecha".

Como ocurre con el resto de los pasos del estilo patinador se observa un aumento del ángulo respecto al sentido de la pista en las fases de empuje mediante una rotación externa de cadera, y una disminución en la recuperación de la pierna mediante una rotación interna de cadera y el mantenimiento del ángulo durante la fase de deslizamiento.

En relación con el ángulo de abducción de los brazos, se observa una recuperación que no es totalmente simétrica, llevando un brazo, el izquierdo en este caso, por encima del otro y con diferente relación de ángulos.

No obstante, se puede observar un aumento de los ángulos de abducción en la fase de recuperación y una disminución en la fase de impulso.

Finalmente, en relación al cambio de peso, se observa un claro movimiento del cuerpo sobre el esquí que realiza el deslizamiento. El momento del cambio coincide con el final de la recuperación y el posicionamiento de la pierna que ha realizado el impulso junto a la pierna que ha realizado hasta ese momento el deslizamiento.

Toda esta información queda más detallada en la tabla 38 y 39.

Conclusiones.

Following the conclusions drawn from this study are as follows:

- In gear "diagonal stride", the front view did not provide conclusive information regarding the progression of weight along the way, as this did not change and stood throughout the progression on the right side. One reason may be due because of a camber on the track.
- The front view of the skating style revealed that drive movements were accompanied by a movement of external rotation hip opening angle increased the ski in relation to the track direction. But the movements were on a recovery accompanied by hip internal rotation angle closed by placing the closest to the direction of travel skiing movement. This angle during sliding usually not varied.
- In the footsteps of "double polling" and G3, the main action of momentum during the first phase of the impulse action the upper body, is mainly caused by a decrease in the trunk.
- In the skating style, G3 and G4 reduced the abduction angle in pulse phases and increases recovery.
- In the classic style "double polling" and "double polling with kick" reduce the angle in the first phase of momentum to later open it again for the rest of this phase. The angle recloses when the recovery occurs arms.

Perspectivas futuras de investigación.

Las diferentes perspectivas a continuación expuestas basan su naturaleza dependiendo de la fase del proceso analizada.

En primer lugar en cuanto a la metodología utilizada, se plantea la realización de un estudio intentando subsanar los errores encontrados en el planteamiento del presente estudio.

Por otro lado, los estudios biomecánicos que analizan la técnica permiten la optimización de la aplicación de las fuerzas, por lo que un estudio que analice la aplicación de la técnica puede producir una evolución tanto en la propia técnica como en las formas de entrenamiento, refiriéndonos con esto a la realización de programas de preparación física.

Los estudios biomecánicos permiten conocer la musculatura implicada en las acciones técnicas, dando la posibilidad de optimizar el trabajo de fuerza con ejercicios más específicos.

Además, una vez conocida de forma general la musculatura implicada en la técnica de esquí nórdico, un estudio que desarrolle un análisis mediante el uso de electromiografía podrá cuantificar el trabajo de cada músculo a lo largo del ejercicio técnico, cual es su participación y durante qué momento del gesto técnico trabaja.

Limitaciones del estudio.

Conforme el estudio fue avanzando aparecieron ciertos problemas que han podido limitar la potencia de las conclusiones.

De forma inicial, a la hora de elaborar el marco teórico, se observó que los estudios biomecánicos se caracterizaban por ser de dos índoles principales. Aquellos que analizaban aspectos propios de la técnica y los que analizaban la aplicación del paso en el medio de competición. Los primeros se realizaban en un laboratorio, en cintas rodantes y adaptando el material, las filmaciones por su parte se realizaban mediante sistemas 3D. Los segundos sí que utilizaban cámaras, además de otros sistemas dependiendo del objetivo del estudio, pero la información almacenada no tenía la misma naturaleza, ni buscaba el mismo objetivo que la del presente estudio, por lo que más tarde se observó que aunque los protocolos se adaptaron para la recogida de datos no eran los óptimos.

De acuerdo con esto, a la hora de analizar las filmaciones, había puntos de referencia que quedaban tapados por las propias acciones técnicas. También se observó que aunque la cámara se situaba en una posición fija, las perspectivas hacían que los ángulos en mismas posiciones variaran. Aunque el protocolo de grabación se estableció en base a información obtenida de otro estudio, en dos de los pasos analizados cuyas velocidades eran más altas no se captó un ciclo completo del paso. Además, principalmente en el estilo patinador, es necesario tener filmaciones de ambos lados del cuerpo, ya que dos de sus pasos no son simétricos y la filmación de un único lado no permite conocer de forma precisa las acciones que realiza el otro lado del cuerpo.

El hecho de no poseer un sistema que pudiera garantizar grabar de forma simultánea los diferentes planos analizados puede alterar la naturaleza de los resultados.

La mayor limitación observada de este método de análisis, ha sido la imposibilidad de cuantificar las rotaciones de los diferentes segmentos corporales. La rotación que se produce en el tren inferior en el estilo patinador pudo ser observada indirectamente calculando el ángulo formado entre la línea longitudinal del esquí y el plano vertical de la imagen, y utilizando como origen del ángulo la cola del esquí. Sin embargo, la rotación percibida tras finalizar el impulso de pierna en dos de los pasos del estilo clásico no pudo ser cuantificada, al igual que la rotación del hombro que se produce en la acción de los brazos en todos los pasos de la modalidad.

Agradecimientos.

Para finalizar este trabajo me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que me han ayudado en la realización de este trabajo y lo han hecho posible.

En primer lugar a mi director de proyecto, el Dr. Carlos Castellar Otín que confió en mí cuando le presente este proyecto y me ha ayudado con una atención y guía excepcional.

Me gustaría también agradecer a la participante en este proyecto, Magda Genuin, por su rápida disponibilidad, su ayuda y su tiempo.

Por último, a la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, a su personal y técnicos, por los recursos prestados y su apoyo para que esto haya sido posible.

Bibliografía.

Artículos.

- Aedo E. A. & Bustamante A. F. (2012) Conceptualización de la biomecánica deportiva y biomecánica de la educación física, *Educación física Chile*, 270, 63-68.
- Andersson E., Supej M., Sandbakk Ø., Sperlich B., Stöggl T. & Holmberg H.C. (2010), Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system, *European journal of applied physiology*, 110, 585–595, doi: 10.1007/s00421-010-1535-2.
- Estevan I., Falco C., Freedman J. & Jandacka D. (2015), Comparison of Lower Limb Segments Kinematics in a Taekwondo Kick. An Approach to the Proximal to Distal Motion, *Journal of human kinetics*, 47, 41-19, doi: 10.1515/hukin-2015-0060.
- Gianikellis K. (1996), Características técnicas y prestaciones de los sistemas optoelectronicos más difundidos en el campo de la biomecánica del movimiento humano. Estado actual de conocimientos, *Revista motricidad*, 2, 191-210.
- Grasaas E., Hegge A.M., Ettema G. & Sandbakk Ø. (2014) The effects of poling on physiological, kinematic and kinetic responses in roller ski skating, *European journal of applied physiology*, 114, 1933–1942, doi: 10.1007/s00421-014-2926-6.
- Gutierrez M. (1994) Biomecánica y ciclismo, *Revista motricidad*, 1, 77-94.
- Holmberg H.C., Lindinger S., Stöggl T., Eitzlmair E. & Müller E. (2005) Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 807-818, doi: 10.1249/01.MSS.0000162615.47763.C8.
- Kehler A.L., Hajkova E., Holmberg H.C. & Kram R. (2014), Forces and mechanical energy fluctuations during diagonal stride roller skiing; running on wheels?, *Journal of experimental biology*, 217, 3779-3785, doi: 10.1242/jeb.107714.
- Kuhman D. J., Paquette M. R., Peel S. A. & Melcher D. A. (2016), Comparison of ankle kinematics and ground reaction forces between prospectively injured and uninjured collegiate cross country runners, *Human movement science*, 47, 9-15, doi: 10.1016/j.humov.2016.01.013.
- Marsland F., Lyons K., Anson J., Waddington G., Macintosh C. & Chapman D. (2012), Identification of cross-country skiing movement patterns using micro-sensors, *Sensors*, 12, 5047-5066; doi:10.3390/s120405047.
- Mailapilli D. R., Benton J. & Woodward T. W. (2015), Biomechanic of the Taekwondo axe kick: a review, *Journal of human sport & exercise*, 10(1), 141-149, doi: 10.14198/jhse.2015.101.12

- Myklebust H., Losnegard T. & Hallen J. (2014), Differences in V1 and V2 ski skating techniques described, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24, 882-893, doi: 10.1111/sms.12106.
- Pellegrini B., Zoppiroli C., Bortolan L., Zamparo P. & Schena F. (2014), Gait models and mechanical energy in three cross-country skiing techniques, *Journal of experimental biology*, 217, 3910-3918, doi: 1242/jeb.106740.
- Sandbakk Ø., Ettema G., Leirdal S., Jakobsen V., & Holmberg H.C. (2011), Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance, *European journal of applied physiology*, 111, 947–957, doi: 10.1007/s00421-010-1719-9.
- Sandbakk Ø., Ettema G., & Holmberg H.C. (2011b), The influence of incline and speed on work rate, gross efficiency and kinematics of roller ski skating, *European journal of applied physiology*, 112, 2829–2838, doi: 10.1007/s00421-011-2261-0.
- Sandbakk Ø., Ettema G., & Holmberg H.C (2013), The physiological and biomechanical contributions of poling to roller ski skating, *European journal of applied physiology*, 113, 1979–1987, doi: 10.1007/s00421-013-2629-4.
- Sandbakk Ø., Leirdal S. & Ettema G., (2014) The physiological and biomechanical differences between double poling and G3 skating in world class cross-country skiers, *European journal of applied physiology*, 115, 483–487, doi: 10.1007/s00421-014-3039-y.
- Serrien B., Clijsen R., Blondeel J., Goossens M. & Baeyens J.P. (2015), Differences in ball speed and three-dimensional kinematics between male and female handball players during a standing throw with run-up, *Sport science medicine and rehabilitation*, 18, 7-27, doi: 10.1186/s13102-015-0021-x.
- Stöggl T. Lindinger S. & Müller E. (2007), Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17, 362–372, doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00589.x.
- Stöggl T. & Müller E. (2009), Kinematic Determinants and Physiological Response of Cross-Country Skiing at Maximal Speed, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(7), 1476-1487, doi: 10.1249/MSS.0b013e31819b0516.
- Stöggl T. & Holmberg H.C. (2015) Three-dimensional Force and Kinematic Interactions in V1 Skating at High Speeds, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47, 1232-1243, doi: 10.1249/MSS.0000000000000510
- Zory R., Vuillerme N., Pellegrini B., Schena F. & Rouard A. (2009), Effect of fatigue on double pole kinematics in sprint cross-country skiing, *Human movement science*, 28, 85-98, doi: 10.1016/j.humov.2008.05.002.

Libros

Gutierrez M. (1998) Biomecanica deportiva: bases para el análisis. Sintesis, Madrid.

Perez P. & Llana S. (2015), Biomecánica básica. Aplicada a la actividad física y el deporte. Badalona: Paidotribo.

Sanchez J. (1999), Biomecánica de la marcha humana normal y patológica, Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV).

Anexo I (hoja informativa).

HOJA DE INFORMACIÓN PARA EL DEPORTISTA.

ANALISIS BIOMECANICO DE LA TECNICA DE ESQUI DE FONDO.

Investigador y contacto:

Jesús Labanda Lacasta.

- Correo: jlabanda@outlook.es
- Teléfono: 638 979 201

Descripción general del estudio:

Este proyecto tiene el objetivo de estudiar mediante el análisis de video las diferentes técnicas que comprenden el esquí de fondo.

Para ello, se ejecutaran una serie de grabaciones realizadas desde diferentes planos. En ellas, el sujeto reproducirá los diversos pasos que componen los dos estilos del esquí de fondo.

Procedimiento:

Tras establecer y colocar el material necesario en la zona de grabación, se colocaran una serie de puntos de referencia en los siguientes puntos anatómicos:

- Vista frontal: tubérculo menor del humero (ambos lados), vista frontal de cresta iliaca (zona antero superior), rotula.
- Vista lateral: Troquiter humeral, epicóndilo humeral, apófisis del olecranon, cresta iliaca, trocánter mayor del fémur, epicóndilo lateral del fémur, maleolo.

A continuación se realizaran grabaciones en los planos frontal, lateral y posterior de cada uno de los pasos que componen los estilos del esquí de fondo. Cada paso y plano será grabado tres veces para asegurar una mayor fiabilidad de las grabaciones obtenidas.

Anexo II (Consentimiento informado).

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REALIZACION DE GRABACIONES.

D./Dña. _____
_____ con DNI _____ - _____ da su autorización a Jesús Labanda Lacasta para la grabación, archivo y a la realización de los trabajos conducentes a la edición de las imágenes correspondientes a su participación en el proyecto:

Análisis biomecánico de la técnica de esquí de fondo.

Este consentimiento se refiere a los derechos para el uso de éstas imágenes EXCLUSIVAMENTE para su uso, tratamiento y divulgación como material docente e investigador, así como para su publicación en revistas, libros y otros medios pedagógicos y didácticos de índole similar.

Huesca, 15 de febrero de 2015

Fdo: _____

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del TRABAJO: ANALISIS BIOMECÁNICO DE LA TÉCNICA DE ESQUI DE FONDO.

Yo,.....

He leído la hoja de información que se me ha entregado.

He podido hacer preguntas sobre el estudio y he recibido suficiente información sobre el mismo.

He hablado con Jesús Labanda Lacasta

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

1. cuando quiera
2. sin tener que dar explicaciones

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Deseo ser informado sobre los resultados del estudio: sí o no o (marque lo que proceda).

He recibido una copia firmada de este Consentimiento Informado.

Firma del participante:

Fecha:

He explicado la naturaleza y el propósito del estudio al sujeto mencionado

Firma del Investigador:

Jesús Labanda Lacasta

Fecha:

Anexo III (Formulario del sujeto).

Formulario para el estudio: ANALISIS BIOMECÁNICO DE LA TÉCNICA DE ESQUI DE FONDO.

Información general sobre el sujeto:

- Nombre: Magda
- Apellidos: Genuin
- Fecha de nacimiento: 17.06.1979
- Sexo: Femenino
- País de origen: Italia

Información sobre la vida como corredor:

- Años en activo: hasta el 2011
- Experiencia deportiva: deportista profesional con participación en tres juegos olímpicos.
- Horas de entrenamiento promedio semanal en nieve: 12
- Horas de entrenamiento promedio semanal en seco: 14
- Meritos deportivos: 12 pódiums en Copa del Mundo, diplomas en los Juegos Olímpicos de Vancouver 2010.
- Lesiones sufridas: epitrocleitis en los codos.

Información referente al contacto con el deporte tras la trayectoria deportiva:

- Relación actual con el deporte: entrenadora de tercer nivel, demostradora, profesora de esquí.
- Titulaciones en relación al deporte: profesora de esquí, entrenadora, demostradora.
- Horas promedio semana de contacto con la nieve en temporada: 25.

Anexo IV (Formulario de pistas).

Formulario para el estudio: ANALISIS BIOMECÁNICO DE LA TÉCNICA DE ESQUI DE FONDO.

Lugar y condiciones:

- Lugar: Pista de Somport
- Fecha: 16.03.2016
- Hora: 9:00
- Temperatura ambiente: 0
- Temperatura de la nieve: -2
- Meteorología: Cielo despejado con algunas nubes
- Viento (descriptivo): sin viento.

Material del sujeto:

- Marca de esquís patinador: Rossignol.
- Medida: 186
- Marca de bastones patinador: One way.
- Medida:157
- Marca de esquís clásico: Rossignol.
- Medida: 198
- Marca de bastones clásico: One way.
- Medida: 150
- Ceras de agarre utilizadas: suela 0.