

Trabajo Fin de Máster

Análisis de la presión ejercida durante la acción de giro de esquí alpino a través de simulador

Analysis of the pressure exerted during alpine ski turning action through simulator

Autor/es

Laura Abós Bassa

Director

Isaac López Laval

Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte
Máster en Evaluación y Entrenamiento Físico para la Salud

- Huesca 2021 -

RESUMEN

El Esquí Alpino es un deporte popular en todo el mundo y practicado por un amplio número de personas. El análisis biomecánico para el rendimiento en esta modalidad es de real importancia para la mejora y a su vez, complejo y desafiante desde el punto de vista físico, técnico y táctico. Especialmente, la presión ejercida durante los giros es de gran importancia, siendo esta la unidad básica de movimiento dentro del esquí alpino. La realización del estudio se llevó a cabo con los deportistas pertenecientes del Centro Especializado en Tecnificación de Deportes de Invierno (CETDI). Un total de 9 sujetos ($n=5$ chicas y $n=4$ chicos) participaron en este trabajo. Para el registro de las diferentes presiones ejercidas en los apoyos laterales se emplearon las plantillas instrumentales (Pedar[®] pad) y el software informático Novel – Pedar[®]. Se utilizó un ergómetro específico para reproducir la acción técnica de giro y determinar con precisión el punto de inicio de la acción de giro, las partes que lo componen y establecer los parámetros de fuerza aplicados durante la acción. La fuerza aplicada se obtuvo a partir del propio sistema de plantillas instrumentadas y se compararon los parámetros físicos de fuerza ejercidos a partir de un ejercicio básico de entrenamiento para la determinación de la máxima producción de potencia. De manera general, son en los apoyos a izquierda donde se dan los valores más altos, así como en la parte del antepié, predominando de manera general las chicas frente a los chicos. Se encuentran fuertes correlaciones en los apoyos de derecha ($r = 0.8$; siendo $p < 0.05$.) a diferencia de la pierna izquierda.

Palabras clave: esquí alpino, giro, distribución de presiones, simulador de esquí, análisis descriptivo

ABSTRACT

Alpine skiing is a popular sport practiced by a large number of people all over the world. Biomechanical analysis for performance in alpine skiing is of real importance for improvement is it also complex and challenging from a physical, technical and tactical point of view. Specially the pressure exerted during turns is of great importance, as this is the basic unit of movement within alpine skiing. The study was carried out with athletes belonging to the Specialised Centre for Winter Sports Technification (CETDI). A total of 9 subjects (n=5 girls and n=4 boys) had participated in this study. Instrumental insoles (Pedar® pad) and Novel – Pedar® computer software were used to record the different pressures exerted on the lateral supports. A specific ergometer was used to reproduce the technical swing action and to accurately determine the starting point of the swing action, the parts that compose it and establish the force parameters applied during the action. The applied force was obtained from the instrumented insole system and the physical parameters of force exerted from a basic training exercise were compared to determine the maximum power output. In general, the highest values are found at left foot rests and at forefoot area, with girls predominating over boys. Strong correlations are found in the right handstands ($r = 0.8$; $p < 0.05$.) in contrast to the left leg.

Key Words: Alpine skiing, turning, pressure distribution, ski simulator, descriptive analysis.

ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. OBJETIVO/HIPÓTESIS	12
4. METODOLOGÍA.....	13
4.1. Participantes.....	13
4.2. Proceso experimental.....	14
4.3. Análisis de datos.....	19
5. RESULTADOS	21
5.1. Test en encoder lineal.....	21
5.2. Resultados de las tres variables analizadas.....	22
6. DISCUSIÓN.....	26
7. CONCLUSIONES.....	31
8. APLICACIONES PRÁCTICAS	32
9. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	32
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
11. ANEXOS.....	38

1. JUSTIFICACIÓN

El principal motivo del porqué se ha elegido la temática de este trabajo esta relacionado a mi vinculación con el esquí alpino desde muy pequeña, descendiendo de una familia amante y expertos de este deporte. Personalmente, gran parte de mi trayectoria deportiva – competitiva durando 12 años, y ahora mi profesión como entrenadora, se basa en esta compleja disciplina. Al haber cambiado mi situación, pasando de ser deportista a entrenadora, es muy importante para mi tener suficientes conocimientos para poder razonar y explicar el porqué de todo aquello que ocurre una vez comienzas a deslizarte por la pista. Es por ello que, actualmente encuentro una falta de investigación en cuanto a una disciplina tan específica como es el esquí al pino, tanto a nivel de rendimiento como en relación con la propia técnica del deporte. Por este motivo, mediante el siguiente trabajo se pretenden aportar datos muy enriquecedores que ayuden a evolucionar en el conocimiento del mismo, así como tratar de determinar la posible relación existente entre parámetros condicionales propios del deportista y su implicación en la ejecución técnica.

El siguiente trabajo versa en relación a la modalidad deportiva del Esquí Alpino. Se pretende analizar las diferentes presiones ejercidas por los esquiadores durante la acción de giro en un simulador. Es de real interés puesto que se pueden obtener datos importantes sin necesidad de ir a la nieve, consiguiendo información útil sobre la fuerza o la distribución de las presiones plantares, aspectos importante que mejorarán el rendimiento del esquiador en pista.

2. INTRODUCCIÓN

El Esquí Alpino es un deporte de invierno reconocido por el Consejo Superior de Deportes (CSD) (1), siendo una disciplina popular en todo el mundo y practicado por un gran número de personas desde un nivel de iniciación hasta llegar a la élite, pero con una meta en común, evolucionar en cuanto a su técnica, ya sea para ocio o para la competición. Su principal característica es el descenso controlado por las pistas nevadas de una montaña, las cuales están preparadas para ello. De manera individual, el esquiador necesita de un determinado equipamiento para poder practicarlo, englobado en material blando y duro. Por un lado, en el material duro se encuentran los esquís y sus fijaciones mediante los que facilitarán el deslizamiento, un par de botas específicas, un par de bastones y el casco. Por otro lado, en el material blando se incluyen elementos como la propia ropa de abrigo del esquiador, la cual debe ser impermeable, así como la crema solar, gafas de sol, guantes, etc.

A pesar de la gran cantidad de literatura científica centrada en el esquí alpino, incluyendo estudios de prevención de lesiones (2), fisiología (3), fricción entre la nieve y el esquí (4), etc., existen multitud de aspectos que guardan relación con el rendimiento final del esquiador y que deben ser tenidos en cuenta. Por un lado, las diferentes modalidades que lo engloban, las cuales están divididas en cuatro disciplinas; de velocidad y dos técnicas, diferenciados por el radio de giro, la velocidad y la longitud del recorrido (5) son condicionantes de multitud de aspectos relacionados con las peculiaridades del deporte. Por otro lado, la velocidad de descenso propia de cada prueba; las pruebas de descenso, súper-gigante, gigante o slalom. En el descenso, el corredor sigue la pendiente natural de la montaña y puede alcanzar velocidades de hasta 150 km/h con una duración total de 2-3 minutos generalmente. En Súper gigante, es una prueba que incluye más giros en los trazados y se confecciona sobre recorridos más corto, siendo su duración de 1-2 minutos aproximadamente. Las categorías más técnicas gigante y slalom, tienen una duración de media de entre 60-90 segundos el gigante y 45-60 segundos el slalom, siendo esta última la que requiere giros muy rápidos y cortos (5). Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta son las demandas fisiológicas que este deporte supone, ya que los límites de determinados parámetros físicos señalan la inminencia y la fatiga muscular pudiendo desembocar en reducciones de la producción de potencia, y con ello

un deterioro del rendimiento (6). Según el autor A. Legaz (7), debido a la especificidad de la adaptación, el entrenamiento debe orientarse al desarrollo de los factores de rendimiento específicos de cada modalidad deportiva, considerándose como los factores cuyo progreso determinan una mejora directa del rendimiento.

El entrenamiento también debe orientarse al desarrollo de los factores que posibiliten un mayor avance de los factores de rendimiento específicos, considerados como factores de rendimiento básicos que determinan un aumento indirecto del rendimiento. Las exigencias del esquí alpino son complejas y requieren de varias capacidades fisiológicas donde se encuentran factores específicos como la fuerza explosiva, requiriendo movimientos rápidos frecuentemente, al igual que la resistencia a esta, ya que el atleta debe poder mantenerla el mayor tiempo posible (3,8). También la fuerza resistencia excéntrica, concéntrica e isométrica son necesarias para resistir las fuerzas gravitacionales y la centrífuga durante los giros (9), así como la resistencia a la fuerza resistencia excéntrica, concéntrica e isométrica propias de un deporte caracterizado por su corta duración pero en el que se debe mantener durante toda la bajada la constancia de movimientos específicos. Igualmente, también se debe prestar atención a los factores de la movilidad dinámica y la motricidad, así como una producción de energía casi máxima aeróbica y anaeróbica (8). Requisitos básicos para establecer la metodología de entrenamiento adecuada con el fin de la optimización en el rendimiento. Por último, y siendo uno de los factores más importantes de esta disciplina deportiva, se requiere de una gran fuerza en los cuádriceps tanto para el rendimiento como para la prevención de lesiones graves de rodilla, especialmente por sus condiciones cambiantes, inestables y dinámicas durante el giro (10). Las contracciones excéntricas, concéntricas e isométricas juegan un papel muy importante, por lo que se puede confirmar que la fuerza el factores fisiológicos dominantes en este deporte.

El esquí alpino es un deporte que requiere un cambio constante de velocidad y posición de equilibrio, así como esfuerzos intensos a corto plazo (5), además de sus constantes condiciones cambiantes, inestables y dinámicas durante el giro (10). Se realiza sobre una superficie impredecible además de tener el tobillo – pie fijo en la bota no se pueden realizar ajustes posturales importantes en esta articulación (11), elemento que tiene una

gran relación con la capacidad de equilibrio del esquiador. Asimismo, respecto a la dificultad que puede tener el descenso por una pista, no solo se basa en los conceptos nombrados anteriormente, sino que se debe tener en cuenta otra serie de elementos que pueden hacer más complicada la bajada, como el tipo de nieve o la meteorología elementos que guardan relación con los elementos externos a los que se enfrenta el esquiador. Además, factores que influyen en el tipo de nieve como la localización de la estación (más seca o más húmeda), su orientación (norte, sur) o la altura a la que se encuentra, son elementos a considerar.

Apenas existen evidencias científicas sobre aspectos biomecánicos que influyan en el rendimiento de los esquiadores, siendo este un aspecto determinante en el rendimiento. Por ello, respecto a los giros que se producen durante la bajada, las comprensiones generadas en cada acción técnica son un elemento importante a conocer y a entender (12). Los giros son considerados como unidades básicas del deporte donde es crucial determinar con precisión cuándo comienza y cuando acaba cada acción, de esta manera podremos analizar aspectos como simetría, la aceleración o control de presión (12). Debe tenerse en consideración que aspectos también considerados importantes, como son el tiempo de las fases del giro o las magnitudes de las fuerzas que actúan están fuertemente influenciadas por las condiciones de la pista. Este elemento van a condicionar también la velocidad o el propio radio de giro de la acción técnica (13).

Según la literatura científica, los giros pueden dividirse en varias fases. Un giro se distribuye comúnmente en fase de inicio (inicio del giro) y fase de dirección (dirección de giro) (13). Entendidas de manera conjunta son consideradas como el movimiento del centro de gravedad del sistema esquiador-esquí que se mueve a lo largo de una trayectoria curvilínea con una fuerza centrífuga actuando. Debe tenerse en consideración que existe una acción de movimiento entre fases de giro que conducen al inicio de cada giro, a la cual se le denomina fase de inicio (13). La separación real en estas fases varía con las opiniones subjetivas de los diferentes autores y las descripciones de las posiciones de esquí y los movimientos de los esquiadores (13). Finalmente destacar que la transferencia de peso de un esquí a otro indicando el final o comienzo de cada giro. A medida que el esquiador avanza, la fuerza aplicada en el pie exterior aumenta hasta el final de la fase de

dirección, y a continuación, cambiará el peso progresivamente en el nuevo esquí interior para pasar de nuevo a ser esquí exterior del siguiente giro (13,14).

El análisis biomecánico en deportistas de esquí alpino es complejo y desafiante desde el punto de vista físico, técnico y táctico (15). Debido a que una mejora de tan solo una centésima de segundo es importante para el resultado final en una competición, el análisis de la técnica en los atletas para la mejora del rendimiento debería de ir más allá de las capacidades de los sistemas basados en video, los cuales dependen de la intuición del entrenador y/o atleta (16). La capacidad de exhibir continuamente competencia técnica dentro de una carrera, y también durante una larga temporada competitiva, requiere altas capacidades técnicas dentro de todos los sistemas fisiológicos (17) y para ello, actualmente existen alternativas para la medición y control de la propia técnica. Deben destacar las aportaciones realizadas por Vaverka F. et al. (2012), donde determina la necesidad de aplicar análisis cinético para poder describir con precisión las duraciones y magnitudes de las fuerzas de reacción del giro y su manera de actuar en las diferentes fases individuales de los giros en esquí (13). Del mismo modo, Martínez A. et al. (2019) desarrolló un sensor de medición con su correspondiente algoritmo para describir los giros con precisión (12). Por último, destacar el método basado en un sensor de medida inercial para el análisis del rendimiento en los giros que es utilizado por los esquiadores de forma cómoda y eficaz para la determinación de este mismo esquema técnico (18).

Otro método de medición, y mediante el cual se lleva a cabo este estudio, es el simulador específico de esquí alpino, también denominado ergómetro, herramienta adaptada a los movimientos específicos y dinámicos del esquí alpino (17). Los ergómetros de esquí son útiles como herramienta para poder determinar con precisión el punto donde comienza cada giro, las partes que este supone o incluso para conocer mediante plantillas de presión parámetros como la fuerza aplicada en cada giro. Estudios anteriores a nuestro trabajo confirman que son un sistema de medición eficaz, que permiten conocer el rendimiento del esquiador, mejorar el proceso de entrenamiento y reducir el índice de lesiones (14). El ergómetro es un simulador disponible comercialmente, “Pro Ski Simulator”, el cual se emplea en terreno seco para la imitación de las secuencias de movimiento específicas de la técnica del esquí alpino, especialmente la angulación de la rodilla, la cadera y el

movimiento paralelo de las piernas, debiendo estar controlado por un entrenador de esquí cualificado (17). También es útil para el entrenamiento fuera de la temporada de nieve, donde se pueden variar las cargas y entrenar específicamente las estructuras y músculos importantes de la modalidad, así como para la prevención de lesiones específicas, predominando las lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA) (2). Por otro lado, se encuentran ciertas limitaciones, siendo principalmente el precio, ya que es un aparato caro, y no todos los centros se lo pueden permitir. Estos sistemas son efectivos para pruebas en interiores, pero el esquí es un deporte realizado al aire libre, con diversas adversidades que durante una bajada no se pueden controlar como la propia velocidad, baches, placas de hielo o los relacionados con la propia meteorología. Todos estos elementos no existe cuando se trabaja de manera exclusiva con un simulador, por lo que no estaríamos reproduciendo al 100% las necesidades propias del deporte Asimismo, para que el movimiento en el ergómetro se transmita adecuadamente, los individuos deben aplicar cierta fuerza con los brazos y la parte superior del cuerpo en la barra a la que están sujetos (17), la cual tampoco existe cuando se realiza la practica del esquí alpino en su entorno de nieve.

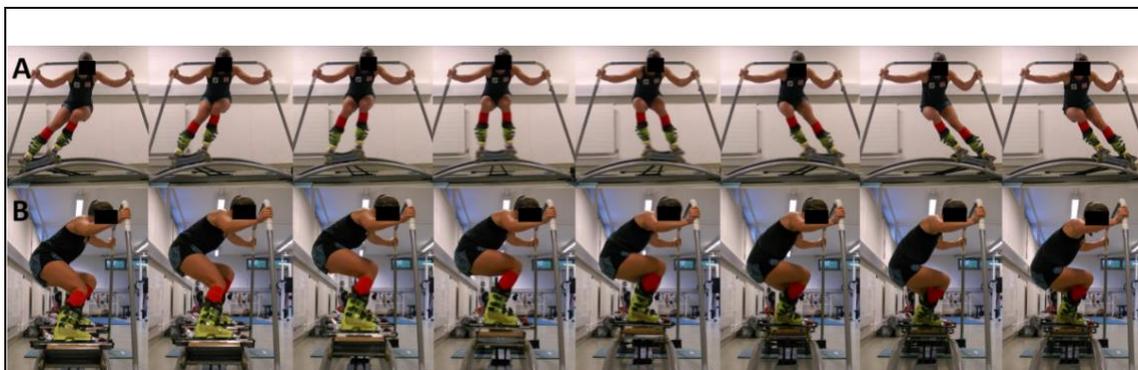


Imagen obtenida de Stöggl et al. (2018). Ilustración de un ergómetro de esquí con (A) vistas del plano frontal y (B) vistas del plano sagital (17).

Asimismo, los sensores de presión del pie son herramientas eficaces que se utilizan ampliamente en los experimentos de esquí (18,19). Mediante el trabajo con plantillas se puede contribuir a distinguir las diferentes presiones aplicadas en las regiones del pie durante cada giro, observando cómo evolucionan parámetros como la fuerza, la superficie plantar empleada, el tiempo de fase de giro que se encuentre, las duraciones de cada apoyo

(13) o las diferencias entre ambos pies y/o el propio control de variables externas. Por ello, es una herramienta útil que proporciona información individual y específica de los giros de cada esquiador para el análisis de la acción técnica. Sin embargo, existen ciertas limitaciones al ser empleadas mediante un ergómetro, ya que para la práctica en nieve los resultados se pueden ver influenciados por otros factores externos como la propia habilidad del esquiador, la inclinación de la pendiente (20), el trazado del recorrido, la forma personal de esquí o la posición del cuerpo (14). También para capturar datos de movimiento durante el entrenamiento diario de los esquiadores la conexión de sensores de presión a las botas o fijaciones puede requerir equipo especial, así como personalizado (18). En este caso, se han utilizado los sensores en una plantilla tipo almohadilla, pero también tienen algunos problemas cuando se utilizan dentro de una bota rígida. La mayoría de los esquiadores alpinos profesionales usan botas con un forro termo moldeado o espuma viscoelástica, que tiene la forma precisa para el pie del esquiador, de manera que este tenga un mejor control del esquí durante la carrera (18). Este forro se adapta perfectamente a su pie y, por lo tanto, no deja espacio para ningún sensor o dispositivo dentro de las botas. Además, incluso si se pudiera colocar una almohadilla de presión delgada dentro de las botas, los esquiadores no podrían reproducir su mejor rendimiento, porque aún así los esquiadores se sentirían incómodos.

3. OBJETIVO/HIPÓTESIS

Siendo que a penas existe evidencia científica sobre aspectos biomecánicos que influyan en el rendimiento de los atletas, más especialmente en relación a la presión ejercida en los giros durante un descenso de esquí alpino, aspecto determinante en la mejora en competición. Se parte de la hipótesis de que las presiones plantares varían entre esquiadores en función de las características individuales de cada uno. Además, se considera que existe una posible relación entre los niveles de potencia generados en ejercicios aislados de entrenamiento con la producción de fuerza generada en la acción de giro. Aspecto que podría condicionar el proceso de entrenamiento y su planificación.

Por ello, los objetivos de este estudio consisten en:

- Realizar un descriptivo de la distribución de las presiones plantares en la fase máxima de presión del giro en ambas piernas.
- Determinar la posible correlación existente entre la potencia máxima producida con una pierna en relación a la fuerza aplicada en el punto máximo de apoyo.

4. METODOLOGÍA

4.1. Participantes

Este trabajo fue llevado a cabo con 9 esquiadores experimentados ($n = 5$ hombres y $n = 4$ mujeres). Se registraron las características, así como la edad, la altura, la masa corporal y el % de grasa (ver Tabla 1).

<i>Tabla 1.</i>		
Características de los esquiadores alpinos		
	Media\pmDS	Rango
Edad (años)	16.78 \pm 0.97	16 – 19
Altura (cm)	167.89 \pm 9.17	158 – 186
Peso (Kg)	66.9 \pm 10.34	50.4 – 80.7
% grasa	19.49 \pm 6.8	11.3 – 30.8

Abreviaturas: Desviación Estándar (DS)

Se establecieron como criterios de inclusión para este trabajo que los esquiadores participantes deberían de pertenecer al Centro Especializado en Tecnificación de Deportes de Invierno (CETDI), ser miembro de la sección de Esquí Alpino de la Comunidad Autónoma de Aragón, España o haber participado en competiciones nacionales el año anterior.

Como criterios de exclusión se determinó que todos aquellos esquiadores que habían sufrido una cirugía en los 12 meses previos a la realización de las pruebas, así como que pudiesen padecer cualquier dolor en el tronco inferior en el momento de la realización del estudio fueron excluidos de este trabajo.

Previamente al inicio de la recogida de datos, los participantes y el equipo técnico fueron informados de los objetivos de este trabajo, así como de los beneficios y posibles riesgos que pudieran derivar de su participación. El estudio se diseñó de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki (Fortaleza 2013) y fue previamente aprobado por

el Comité de Ética de Aragón (Anexo 1). Todos los esquiadores firmaron el consentimiento informado y pasaron un examen médico. En lo que respecta al tratamiento de los datos, fueron codificados y se preservó en todo momento el anonimato de los sujetos. Estos no recibirán ningún tipo de compensación y la participación será totalmente voluntaria. Se les informó en detalle sobre los procedimientos de las pruebas.

4.2. Proceso experimental

Estudio observacional descriptivo realizado en el mes de septiembre de 2020. La recogida de datos se llevo a cabo en 2 días con un día en medio de descanso que garantizo la recuperación de los esquiadores. El primer día se realizaron las pruebas de fuerza con encoder lineal, determinado la fuerza generada en el movimiento de sentadilla tanto con 2 piernas como de manera asilada con pierna derecha e izquierda. El siguiente día, se realizó el test en simulador de Esquí Alpino (Figura 1), utilizando plantillas instrumentales de presiones para la valoración de los apoyos (Figura 2).

4.2.1. Test de potencia

Para la determinación de los valores de fuerza de la extensión de rodillas / cadera se escogió el ejercicio de sentadilla, tanto bipodal como monopodal. Se realizó en un “maquina smith” convencional y se utilizaron discos para la aplicación de carga. La barra se colocó sobre los hombros del esquiador, por detrás de la cabeza, y no se les marco grados de flexión. Todas las pruebas se realizaron en el gimnasio de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte de Huesca. El control de la velocidad se realizó con el sistema de control Speed4lifts (v.4.1, Madrid, Spain) (21).

El test consistió en la evaluación del procedimiento de una repetición máxima (1RM) (21). Es un test progresivo, comprendiendo varias series con pesos crecientes, de 2 a 3 repeticiones, aplicando la máxima aceleración y alternadas por 2 – 5 minutos de descanso entre cada serie y donde cada sujeto debe intentar aplicar en cada movimiento la máxima aceleración posible a la resistencia a vencer (22,23). Antes de su comienzo, cada sujeto estimó su 1RM que podría alcanzar, constituyendo así el punto de partida para organizar

el protocolo de evaluación, en el que la primera serie se realizaba con un peso cercano entre el 30 al 40% de sus respectivos valores de 1RM, permitiendo una acción de fuerza explosiva, para poder ir aumentando con la mayor cantidad de pesos posibles, progresando a moderado (41 al 60%), alto (61 al 80%) y máximo (81 al 100%) (7,23). A la hora de comenzar, se siguió la metodología descrita por Baechle y col., 2000, consistiendo en una parte inicial de calentamiento con movimientos de flexibilidad y movilidad articular, seguido de 1 serie de 3 a 5 repeticiones con pesos ligeros individualizados a cada sujeto y como se nombra anteriormente estaría en valores entre el 30-40% de su 1RM, una pausa de 2 minutos, para luego realizar series de 2 repeticiones con los respectivos pesos crecientes de cada uno y pausas de 2 a 4 minutos para poder determinar el 1 RM entre 3 a 5 intentos, como máximo (7,24). Todo ello realizado tanto con las dos piernas, así como sólo con la pierna derecha y después solo con la izquierda.

En cuanto al encoder lineal, es un sistema que consta de un transductor de posición de extensión de cable para medir desplazamientos lineales (21,22), con un registro mínimo de posición de 1mm (23), para evaluar los ejercicios de levantamiento de pesas realizados en una máquina Smith (en este caso, Multipower M433, Salter S.A., España), la cual permite un desplazamiento vertical seguro de la barra durante los ejercicios, además de monitorear fácilmente su desplazamiento y asegurar el movimiento vertical, ya que los dispositivos de evaluación solo pueden medir en un plano (21). Su funcionamiento permite que el cable se desplace verticalmente, según la dirección del movimiento, detectando e informando de la posición de la barra cada 1 milisegundo (1000Hz) a una inter-fase conectado a un ordenador, mediante el software REAL POWER 2001 versión J110 usb, en el que se calcularon los valores necesarios producidos durante la fase concéntrica (24). El encoder se colocó en el suelo, debajo de la barra, de manera que el cable se pudiera asegurar en un sitio concreto, específicamente en el extremo de la barra, de manera que no entorpeciera la ejecución del ejercicio. Todo ello calibrado sistemáticamente según las instrucciones del fabricante antes de la prueba.

Finalmente, se obtuvo el desarrollo de la máxima fuerza mediante la curva fuerza-velocidad, y con ello el punto máximo de producción de fuerza de cada individuo para cada una las cargas aplicadas, reflejado en la Tabla 2.

4.2.2. Simulador de esquí

El siguiente protocolo se realizó en un ergómetro de esquí alpino basado en un simulador disponible comercialmente “Pro Ski Simulator” (Figura 1) para poder identificar de manera más detallada los giros (12).

El simulador consiste en una plataforma sobre ruedas que se mueve hacia la izquierda y hacia la derecha sobre dos rieles metálicos arqueados y paralelos, fijado sobre una superficie plana. Cintas de goma sujetan la plataforma a los rieles y aseguran que recupere su posición de reposo en el medio del aparato (25,26). Estas fueron adecuadas según las recomendaciones del fabricante, las cuales en función de los pesos de cada uno se ve modificada la fuerza de empuje.

Los ejercicios de simulación de esquí, en particular, están diseñados para imitar la repulsión de la superficie de la nieve pero, el simulador de esquí no presenta la realidad del esquí en sí, sino más bien un equipo que encarna una situación similar a esa realidad (27). Ayuda a los esquiadores a reproducir la sensación y el movimiento necesario del ejercicio permitiendo esquiar en un entorno y espacio limitado, no en la pendiente (25,28).



A la hora de realizar el test, cada sujeto trajo sus propias botas de esquí alpino colocándolas en el simulador, y una vez preparado, de manera individual todos se situaron sobre él. Realizaron una toma de contacto para coger ritmo durante 3 – 4 segundos, donde posteriormente, se les pidió que en un total de 6 – 8 segundos lo realizasen a la máxima

intensidad de giro. Se evaluaron un total de 6 giros (3 a derechas y 3 a izquierdas), registrado mediante el software (G*Power 3.1). Para el tren superior no se aplicó ningún control especial, simplemente debían permanecer agarrados a un soporte de bastones propio del simulador, semejantes a los de esquí alpino salvo que estos en la realidad no permanecen anclados a ningún sitio.

Para llevar a cabo el test, primero se diseñó una plantilla de base con sus distribuciones en cuanto a las diferentes presiones ejercidas por parte de todos los esquiadores, analizado posteriormente mediante el software Novel – Pedar[®]. Esta cuenta con cuatro puntos de análisis, antero – posterior y derecha – izquierda de cada pie. (Figura 2)

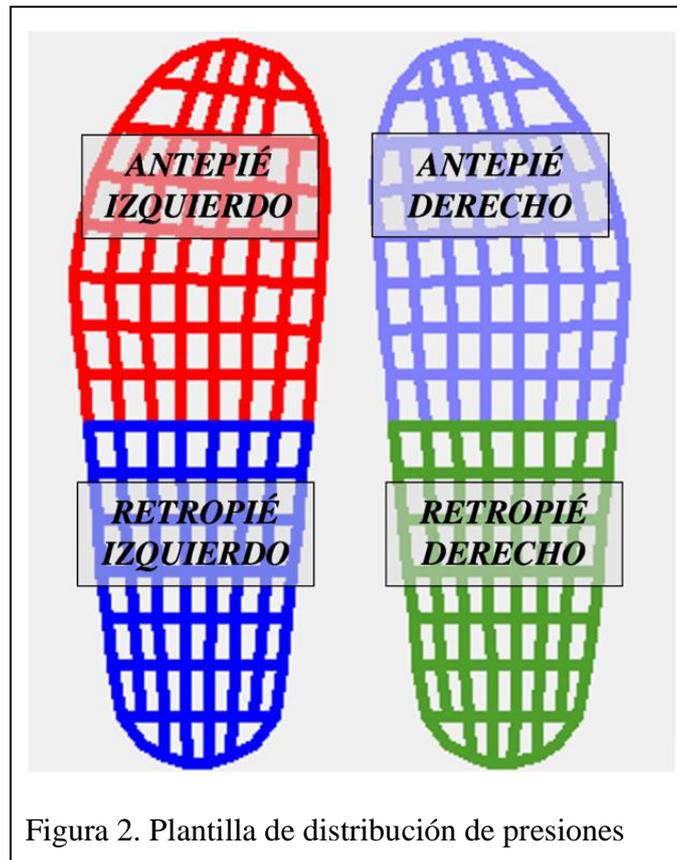


Figura 2. Plantilla de distribución de presiones

La obtención de datos se realizó mediante el programa informático de Pedar[®]. Los datos fueron extraídos a partir de los 3 giros realizados durante el intervalo de tiempo establecido para la prueba (ver Figura 3). Seguidamente, de cada uno de esos giros se determinó como referencia el pico máximo de presión ejercida lateralmente por parte del esquiador en ambos lados, teniendo en cuenta si es un giro a derechas donde la mayor

presión se ejerce con la pierna izquierda o un giro a izquierdas, donde la mayor presión será ejercida por la pierna derecha. A partir de ahí, se obtuvieron también los valores de la fuerza (N) y el área empleada (cm²) de cada uno de los puntos seleccionados.

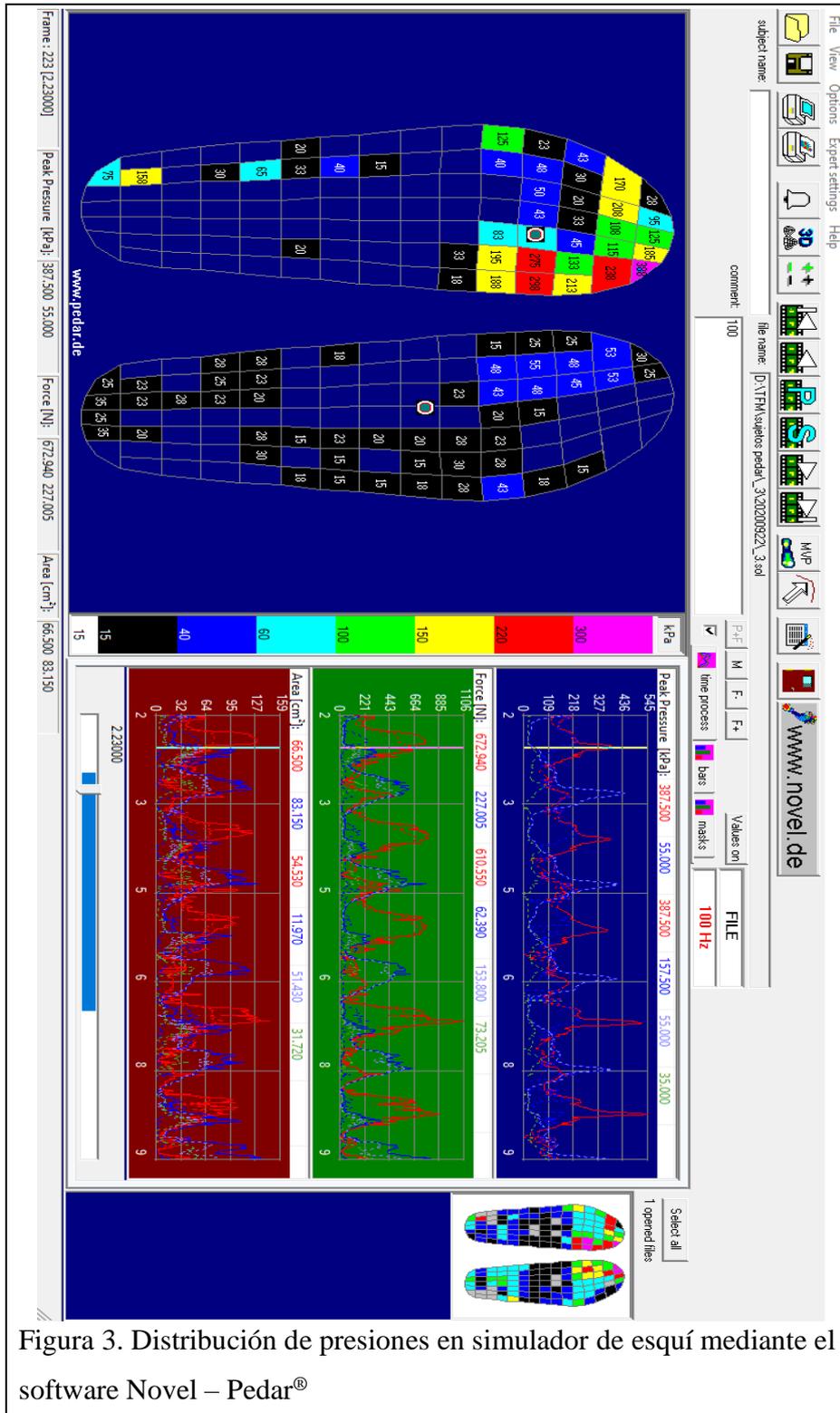


Figura 3. Distribución de presiones en simulador de esquí mediante el software Novel – Pedar®

4.2.3. Evaluación de la presión del pie

La toma de datos referente a la distribución de los apoyos se realizó mediante las plantillas Pedar® Pad, y los datos fueron extraídos con el software Novel – Pedar® (Novel GmbH, Munich, Germany), un sistema especializado en la medición de distribuciones de la carga utilizado en varios estudios como el de Shakouri E. et al., para el diseño y fabricación de nuevas plantillas (29) o Hurkmans H.L.P. et al., para la medición de la fuerza vertical a largo plazo (30).

Las plantillas son almohadillas con sensores altamente elásticos para las mediciones del pie, las cuales van introducidas en la bota del esquiador. Fueron cedidas para el estudio por la empresa de Podoactiva – Walqa (Huesca, España).

Para llevar a cabo la prueba, se cambiaron las plantillas personales de las botas de esquí de cada sujeto por unas Pedar® Pad, colocadas entre el pie del atleta y la bota. Donde especialmente, su uso en este estudio ha contribuido en analizar la distribución dinámica de la presión en el interior de calzado, aportando precisión y confiabilidad puesto que las plantillas son flexibles, de 1,9 mm de grosor y contienen 99 sensores calibrados de alta calidad.

Pedar® Pad se conecta al ordenador a través de su tecnología Bluetooth incorporada, aunque también existe la posibilidad de conectarlo a través de un cable de fibra óptica o USB, permitiendo al usuario observar al sujeto y al mismo tiempo que controla completamente las pruebas desde el ordenador. Para su calibración, se ha necesitado la ayuda del dispositivo de calibración *trublu*, donde todos los sensores del sistema Pedar® se calibran individualmente, garantizando datos precisos y reproducibles que el usuario puede verificar en cualquier momento.

4.3. Análisis de datos

Se realizó un primer análisis descriptivo a partir del valor promedio individual en relación a valores de media, desviación estándar (\pm SD) de las diferentes variables analizadas a

partir del programa informático Excel (v.16.43). Se utilizaron los coeficientes de correlación de Pearson (r) para evaluar cualquier asociación entre las variables analizadas tanto del encoder como del simulador. Para la determinación de la correlación se utilizó el programa informático de Excel. La relación estadística de las variables se realizó para determinar si la asociación entre los elementos era o no lineal. Los coeficientes de correlación fueron tomados dentro del rango de valores de +1 a -1, siendo el 0 el valor que indica la no asociación entre las variables. La interpretación del mismo se realizó siguiendo el siguiente criterio; relación pequeña (0,1 a 0,25), justa (0,25 a 0,5), moderada (0,5 a 0,75) y fuerte (0,75 a 1,0). De igual manera se utilizó al atender a valores negativos (31). La significación estadística se estableció con el valor $P < 0.05$

5. RESULTADOS

5.1. Test en encoder lineal

Los valores obtenidos en relación a los kilos movidos con sus respectivos Watts de potencia generados aparecen descritos en la Tabla 2.

Durante la realización del test mediante el ejercicio de sentadilla, todos los sujetos llegaron a una situación de fuerza máxima, para ellos se respetó el protocolo descrito anteriormente y alcanzando el valor de 1 RM con ambas piernas, así como individualmente con cada una. A partir de la curva de potencia generada se estableció en valor de pico máximo de potencia generada.

Tabla 2.
Resultados del test en encoder lineal

	<i>n</i>	<i>Todos</i>		<i>n</i>	<i>Chicas</i>		<i>n</i>	<i>Chicos</i>	
		Media±DS (Kg)	Media±DS (W)		Media±DS (Kg)	Media±DS (W)		Media±DS (Kg)	Media±DS (W)
Ambas piernas	9	96.53±16.63	646.63±172.44	5	86.72±15.95	521.60±104.89	4	108.8±6.12	802.92±77.46
Pierna izquierda	9	71.04±14.45	415.93±108.63	5	63.06±11.27	338.58±40.92	4	81.03±14.66	512.62±82.43
Pierna derecha	9	71.54±12.78	403.3±101.42	5	65.08±11.27	337.16±67.39	4	79.63±10.45	485.97±70.50

Abreviaturas: Desviación Estándar (DS); muestra (n); Kilogramos (Kg); Wattios (W)

5.2. Resultados de las tres variables analizadas

La Tabla 3 muestra los valores relativos a la máxima presión generada en el punto en el que los esquiadores realizan su máxima presión de giro.

Tabla 3.

Valores generales del pico de presión mediante simulador de esquí medido en kilopascales (kPa)

Variable	Distribución según plantilla	Número de curva	Media±DS (Todos)	Media±DS (Chicas)	Media±DS (Chicos)
PICO DE PRESIÓN	ABSOLUTO IZQUIERDO	<i>Abs_izq_curva1</i>	230±89.78	251±104.67	202±75.1
		<i>Abs_izq_curva2</i>	234±83.61	251±103.57	212±59.49
		<i>Abs_izq_curva3</i>	223±80.97	241±92.29	198±73.2
	ANTEPIÉ IZQUIERDO	<i>Ant_izq_curva1</i>	216±96.12	226±119.89	202±75.1
		<i>Ant_izq_curva2</i>	210±103.71	227±118.31	188±99.72
		<i>Ant_izq_curva3</i>	206±96.84	221±109.5	185±95
	RETROPIÉ IZQUIERDO	<i>Ret_izq_curva1</i>	90±78.21	118±98.32	53±15.21
		<i>Ret_izq_curva2</i>	98±88.17	126±95.62	91±77.07
		<i>Ret_izq_curva3</i>	75±64.54	84±80.12	63±49.81
	ABSOLUTO DERECHO	<i>Abs_dcho_curva1</i>	209±105.13	240±135.22	168±35
		<i>Abs_dcho_curva2</i>	207±97.35	231±128.40	174±30.14
		<i>Abs_dcho_curva3</i>	205±88.86	228±117.95	175±21.36
	ANTEPIÉ DERECHO	<i>Ant_dcho_curva1</i>	193±121.22	212±165.67	168±35
		<i>Ant_dcho_curva2</i>	193±114.88	208±158.6	174±30.14
		<i>Ant_dcho_curva3</i>	177±110.97	178±155.94	175±21.36
	RETROPIÉ DERECHO	<i>Ret_dcho_curva1</i>	79±46.14	79±54.64	79±43.68
		<i>Ret_dcho_curva2</i>	65±43.40	73±40.77	55±53.79
		<i>Ret_dcho_curva3</i>	74±76.48	106±81.25	31±53.4

Abreviaturas: Desviación Estándar (DS)

Los valores relativos a la fuerza máxima generada en el punto de máxima presión ejercida aparecen descritos en la Tabla 4.

Tabla 4.

Valores generales de la fuerza mediante simulador de esquí medido en Newtons (N)

Variable	Distribución según plantilla	Número de curva	Media±DS (Todos)	Media±DS (Chicas)	Media±DS (Chicos)
FUERZA	ABSOLUTO IZQUIERDO	<i>Abs_izq_curva1</i>	560±217.98	572.24±119.76	542.8±346.83
		<i>Abs_izq_curva2</i>	576±193.49	592.03±111.57	553.91±303.97
		<i>Abs_izq_curva3</i>	581±206.42	572.69±117.01	592.49±327.03
	ANTEPIÉ IZQUIERDO	<i>Ant_izq_curva1</i>	488±238.51	481.36±160.03	496.28±363.4
		<i>Ant_izq_curva2</i>	477±226.02	501.5±158.69	443.93±335.6
		<i>Ant_izq_curva3</i>	492±218.81	504.3±165.59	476.6±319.13
	RETROPIÉ IZQUIERDO	<i>Ret_izq_curva1</i>	64±63.08	76.25±73.3	46.51±55.85
		<i>Ret_izq_curva2</i>	98.86±120.46	90.52±74.78	109.98±186.6
		<i>Ret_izq_curva3</i>	89±101.24	68.39±84.66	115.89±134.4
	ABSOLUTO DERECHO	<i>Abs_dcho_curva1</i>	557±231.6	411.58±144.78	750.43±176.24
		<i>Abs_dcho_curva2</i>	512±185.55	421.1±186.86	632.74±111.9
		<i>Abs_dcho_curva3</i>	574±214.7	458.9±222.4	728.35±43.27
	ANTEPIÉ DERECHO	<i>Ant_dcho_curva1</i>	453±226.78	355.74±188.1	581.63±238.69
		<i>Ant_dcho_curva2</i>	430±198.86	362.04±211.4	521.74±172.45
		<i>Ant_dcho_curva3</i>	416±208.46	304.51±184.1	563.88±147.87
	RETROPIÉ DERECHO	<i>Ret_dcho_curva1</i>	104±82.41	55.83±48.84	168.46±76.96
		<i>Ret_dcho_curva2</i>	81±72.76	59.06±32.55	111±109.46
		<i>Ret_dcho_curva3</i>	159±175.5	154.39±213.67	164.46±154.37

Abreviaturas: Desviación Estándar (DS)

En la Tabla 5 aparecen los valores relativos al área empleada del pie en el punto de máxima presión de giro.

Tabla 5.

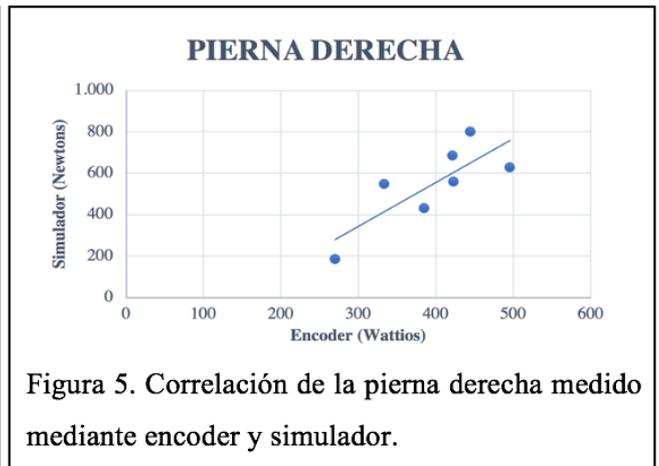
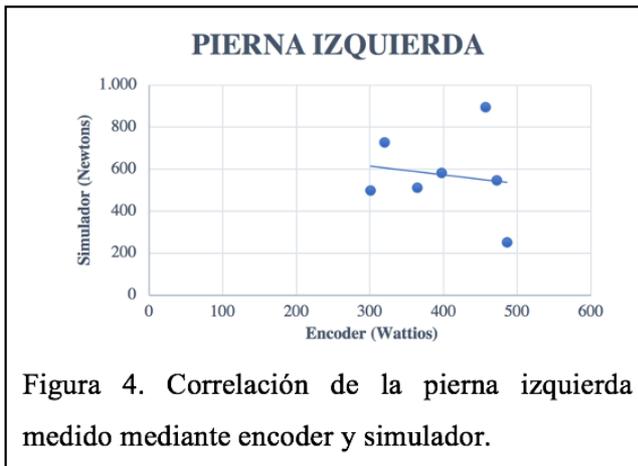
Valores generales del área empleada mediante simulador de esquí medido en centímetros cuadrados (cm²)

Variable	Distribución según plantilla	Número de curva	Media±DS (Todos)	Media±DS (Chicas)	Media±DS (Chicos)
ÁREA DE PRESIÓN	ABSOLUTO IZQUIERDO	<i>Abs_izq_curva1</i>	75±20.77	80±9.9	67±31.74
		<i>Abs_izq_curva2</i>	79±27.41	85±14.49	71±42.14
		<i>Abs_izq_curva3</i>	85±26.82	83±10.34	88±44.45
	ANTEPIÉ IZQUIERDO	<i>Ant_izq_curva1</i>	59±15.91	63±10.03	54±23.12
		<i>Ant_izq_curva2</i>	60±15.11	64±7.59	55±22.87
		<i>Ant_izq_curva3</i>	65±14.95	66±7.82	63±23.89
	RETROPIÉ IZQUIERDO	<i>Ret_izq_curva1</i>	15±11.33	17±10.03	13±14.99
		<i>Ret_izq_curva2</i>	21.44±23.75	20±12.74	23±38.02
		<i>Ret_izq_curva3</i>	21±16.64	17±14.18	25±21.72
	ABSOLUTO DERECHO	<i>Abs_dcho_curva1</i>	87±24.47	69±10.88	111±7.34
		<i>Abs_dcho_curva2</i>	83±22.17	73±20.12	96±20.93
		<i>Abs_dcho_curva3</i>	86±32.58	74±32.61	102±30.61
	ANTEPIÉ DERECHO	<i>Ant_dcho_curva1</i>	63±17.91	53±18.66	75±5.28
		<i>Ant_dcho_curva2</i>	64±19.02	55±21.11	77±4.87
		<i>Ant_dcho_curva3</i>	60±18.01	49±15.36	75±7.19
	RETROPIÉ DERECHO	<i>Ret_dcho_curva1</i>	24±13.54	15±10.3	36±4.48
		<i>Ret_dcho_curva2</i>	20±13.52	18±10.02	23±19.55
		<i>Ret_dcho_curva3</i>	25±21.32	25±23.11	26±23.64

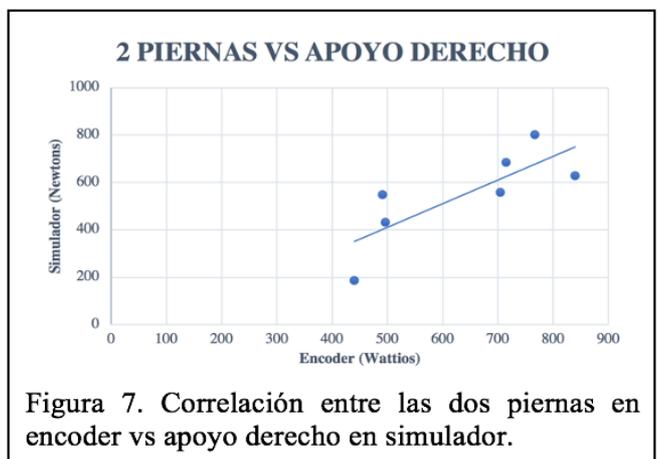
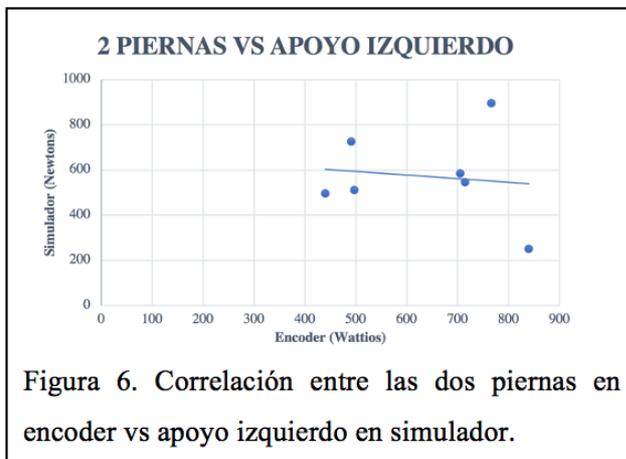
Abreviaturas: Desviación Estándar (DS)

5.2.1. Correlaciones

Al correlacionar los parámetros de potencia en el encoder con la fuerza ejercida en el punto máximo de presión de giro en el ergómetro (figuras 4 y 5), se encontraron tendencias positivas para la pierna derecha ($r = 0.8$; $p < 0.05$), pero no se observaron en la otra pierna ($r = -0.2$).



Al correlacionan los parámetros de potencia en dos piernas mediante el encoder con la fuerza producida en el ergómetro en el apoyo a izquierdas (Figura 6), y en el apoyo a derechas (Figura 7). Se encuentran fuertes correlaciones en los apoyos de derecha ($r = 0.8$; siendo $p < 0.05$.) a diferencia de la pierna izquierda ($r = -0.1$).



6. DISCUSIÓN

Para nuestro conocimiento, este es el primer estudio que trata de realizar una descripción precisa de las diferentes distribuciones plantares que se suceden en la fase de máxima presión de giro mediante simulador de esquí además de analizar parámetros condicionales individuales y su posible implicación en la acción técnica. Los principales hallazgos de este estudio determinaron que; (i) los valores determinados a través del análisis condicional de la extensión de la rodilla demuestran una producción de potencia simétrica entre ambas extremidades, (ii) partiendo de esta situación de simetría los valores absolutos fueron más altos para los chicos en relación con los datos obtenidos para la muestra de chicas; (iii) los valores obtenidos mediante ergómetro determinan una predominancia de los apoyos en el pie izquierdo para las variables de pico de presión y fuerza, a diferencia del área empleada, donde predominan los apoyos en el pie derecho. (iv) En relación también con el análisis de la presión, se destaca el apoyo en el antepié en las variables analizadas mediante ergómetro (pico de presión, fuerza y área empleada) así como para ambos sexos, (v) la muestra de chicas sobresale en las variables de pico de presión, fuerza aplicada y área empleada. Por último, (vi), las correlaciones indican una mayor significatividad en los apoyos a derechas sobre los de izquierda.

En relación con los kilos movidos y vatios generados en encoder lineal (ver Tabla 2), se observan valores más altos en la muestra de chicos a diferencia de la de chicas, pero con escasa diferencia de manera general. También, existen mínimas diferencias individuales por cada pierna, dato que apunta hacia una adecuada simetría. Valor que se ve refrendado por la determinación de producción de vatios que es también mínima. Nuestros resultados siguen la tendencia expuesta por los resultados de una revisión sistemática anterior que afirmó la conclusión resaltando la importancia de la lateralidad como factor a tener en cuenta en la mayoría de los deportes, sobretodo para el rendimiento de los deportistas (32). De manera individual, los valores más altos son los obtenidos por las chicos, coincidiendo con las conclusiones establecidas por Parajón y Augusto (2009), quienes afirman que las mujeres tienen una menor fuerza absoluta tanto en el tren superior como en el inferior (33). Entre ellas también existe una desviación muy elevada a diferencia de los chicos, pudiendo establecer valores heterogéneos en el grupo poblacional femenino en relación con los kilos movidos y a la potencia generada.

En relación al uso y a los resultados extraídos a partir de la utilización del ergómetro de esquí, debemos de tener presente que es posible observar variaciones inter sujetos en relación a las diferencias técnicas implícitas propias de utilizar un implemento que, a pesar de reproducir un gesto técnico, demanda de cierta habilidad por parte de los esquiadores. Aquellos sujetos con mayor habilidad obtienen valores más significantes que los no hábiles, los cuales necesitan tiempo para gestionar el funcionamiento del aparato (25,34). Este aspecto es un factor que debería de tenerse en cuenta y podría demostrar las amplias variaciones observadas en algunas de las variables, especialmente entre aquellos esquiadores que no tenían experiencia en el uso de este aparato. En relación a esta reflexión, Nourrit (2000), determinó que deportistas menos hábiles que practicaron durante seis sesiones en el simulador mostraron cambios positivos en las variables de análisis sin que hubiese ningún tipo de mejora condicional (35). Igualmente, también podría deberse a la propia técnica del sujeto, así como la disminución de la capacidad de realización del ejercicio causada por la fatiga inducida por el simulador (28).

En relación al posicionamiento del esquiador a la hora de realizar el test de análisis, se observó que sus posiciones no varían independientemente del lado de giro que se analizaba (ver Figura 8), pero no es exactamente la posición propia que se demanda cuando la acción se analiza en pista. Principalmente, los bastones a los que permanecen agarrados en el ergómetro ayudan a potenciar sus niveles de fuerza, aspecto técnico que no sucede en la práctica real ya que los bastones van libremente y la totalidad de la fuerza aplicada se genera con la contracción coordinada de la musculatura del tren inferior. Según Nourrit et al. (2003), el empleo del simulador en el que el esquiador lleva los brazos totalmente libres guarda mayor similitud con el gesto propio de la acción de giro en pistas (34).

En relación al análisis de las presiones ejercidas durante la acción de giro autores como , Searle et al. (2018) y Falda-Buscaiot et al. (2017), describieron cómo afectan durante los giros las distribuciones de las presiones plantares respecto a las distribuciones de las regiones anatómicas del pie (14,36). Estos estudios determinaron cómo parte del pie está constantemente en contacto con la superficie de la plantilla independientemente de la localización del sujeto sobre el ergómetro (ver Tabla 5). Estos resultados están en consonancia con un estudio similar llevado a cabo por Nakazato et al. (2011), quienes establecieron que las plantillas de presión estaban constantemente cargadas durante todo el giro del esquí incluso si el esquiador se movía dinámicamente entre giros. Este echo parece ser debido a que la bota de esquí presenta un cierre completo haciendo que en todo momento la suela del pie permanezca en contacto con la plantilla de análisis (19). Tomando como referencia los valores obtenidos en nuestro trabajo en relación al pico de presión producido (ver Tabla 3), se observaron valores más elevados en todos aquellos apoyos realizados con el pie izquierdo en relación con el pie derecho. Además, la distribución predominante en ambos lados, tanto en la muestra de chicos como la de chicas, coinciden en el apoyo de antepié. Esta situación coincide con el punto donde la inclinación del cuerpo se posiciona hacia adelante con la espinilla ejerciendo presión hacia la parte delantera de la bota (37). Posición necesaria para la correcta flexión sobre el esquí (38). En relación a toda la descripción técnica observada, debe ser teniendo en cuenta la acción de tres giros estudiados en la que se observó una disminución de los valores analizados conforme avanzaban las secuencias de giro. Aspecto que puede ser atribuido a la fatiga acumulada (28). Por último, resaltar en cuanto la comparación de

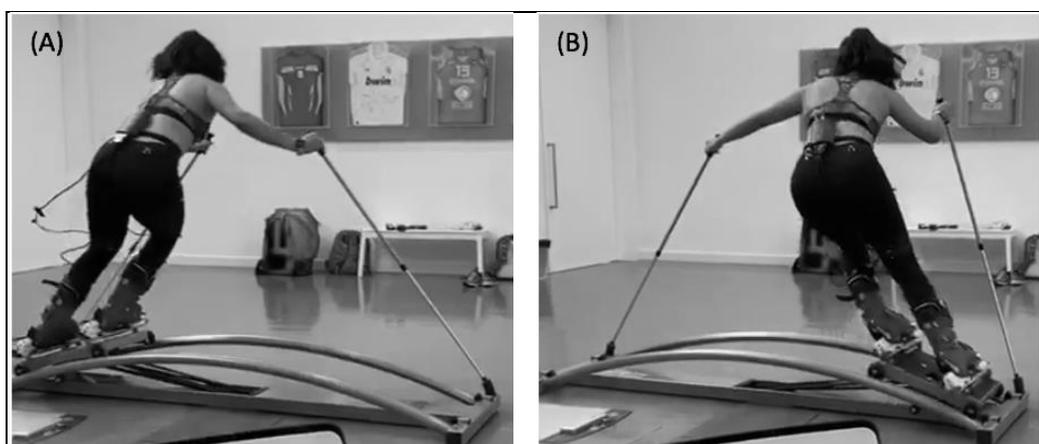


Figura 8. Fase máxima de presión del giro con apoyo en el pie izquierdo (A) y apoyo en el pie derecho (B) mediante ergómetro.

presión ejercida entre chicos y chicas los valores más altos se dan en la muestra de chicas, pero con gran variación entre sus propios resultados.

Por otro lado, respecto a los valores obtenidos en el análisis de la fuerza mediante ergómetro (ver Tabla 4), la diferencia observada entre ambos lados es mínima aunque se observa ligera predominancia en la fuerza ejercida en el pie izquierdo respecto del derecho. Del mismo modo que en la variable analizada anteriormente, también aquí se obtienen los valores más altos en el apoyo del antepié respecto al resto de patrones de análisis tomados. Respecto al análisis de los tres giros, así como la diferenciación entre sexos y la desviación entre ellos, se observa una considerable desigualdad, valor que nos hace determinar que los resultados obtenidos en este trabajo son poco concluyentes. Establecemos como posible causa de la amplia desviación obtenida al bajo nivel de experiencia de algunos sujetos en el uso de este dispositivo de entrenamiento.

En relación con las áreas empleadas durante los apoyos ejercidos por los esquiadores en la acción de giro, la mayor superficie aplicada se da en los apoyos a derechas, tanto en las distribuciones del antepié como retropié, aunque con prioridad en la parte del antepié (ver Tabla 5). Al analizar un movimiento rápido y explosivo como es la acción de giro observamos que apenas existe contacto con la superficie plantar del pie, por lo que de manera inversa, será en el pie derecho el que muestre la mayor parte de apoyo plantar en el momento de mínimo apoyo del pie contrario. Respecto a la diferenciación entre sexos, las chicas siguen predominando en los apoyos del pie izquierdo con ligera desviación en relación a los apoyos del pie derecho, donde la variación aumenta. Por lo contrario, los chicos predominan en los apoyos realizados con pie derecho con una escasa variación, a pesar de que los apoyos a izquierdas la desviación aumenta.

En relación a la correlación establecida en variables de tipo condicional (potencia de piernas analizado con sentadilla) con el valor propio de la acción técnica (fuerza generada en la parte mayor presión del giro) deben destacarse los parámetros de potencia analizados con encoder con la fuerza ejercida en el punto máximo de presión de giro en el ergómetro por parte de la pierna derecha ($r = 0.8$; $p < 0.05$), mientras que en el pie izquierdo los resultados sugieren una mayor variabilidad entre deportistas ($r = -0.2$).

Además, para los parámetros de potencia en dos piernas mediante el encoder con la fuerza producida en el ergómetro, se correlacionaron significativamente con los apoyos de la pierna derecha ($r = 0.8$; $p < 0.05$), a diferencia del apoyo con pie izquierdo donde no encontró correlación alguna ($r = -0.1$). Los valores obtenidos en nuestro trabajo contrastan con los datos obtenidos por separado en cada una de las pruebas, ya que las mayores correlaciones se dan por parte del pie derecho, a diferencia del izquierdo como se determina anteriormente. Estos resultados no son sorprendentes en cierta medida, ya que, debido al conjunto de variables como la falta de habilidad sobre el ergómetro, la heterogeneidad entre los sujetos e incluso la captura de datos por parte de los sensores de las plantillas pueden dar lugar a una variación en los resultados finales.

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas tras la realización de la observación y el análisis son las siguientes:

1. Para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos en dicho estudio se debe tener una buena formación de la modalidad deportiva en cuestión para poder llegar a conclusiones válidas.
2. Respecto al uso de plantillas con sensores, sería necesario su corrección y adecuación en cuanto a las presiones laterales dadas en el simulador de esquí así como para su empleo en pistas.
3. Novel – Pedar[®] permite, mediante la platilla de distribución de presiones, obtener datos necesarios sobre las distintas variables analizadas.
4. Los valores obtenidos en el test de sentadilla demuestran una producción de potencia simétrica entre ambas extremidades, con valores más altos entre los chicos y una desviación estándar elevada entre la muestra de chicas.
5. Los valores obtenidos mediante ergómetro, determinan una predominancia de los apoyos en el pie izquierdo para las variables de pico de presión y fuerza, a diferencia del área empleada. La muestra de chicas es la que predomina en las tres variables analizadas.
6. Generalmente y en las tres variables analizadas, el antepié predomina fuertemente tanto en apoyos con el pie izquierdo como con el pie derecho.
7. Las correlaciones con mayor significatividad se dan en los apoyos con el pie derecho sobre los del pie izquierdo ($r = 0.8$).

8. APLICACIONES PRÁCTICAS

En base a los hallazgos encontrados en este estudio, el uso de un ergómetro de esquí puede ser favorable para realizar entrenamientos fuera de la nieve ya que simula los movimientos reales propios del esquí. Aunque no de manera natural, puesto que es el propio aparato quien marca el final del apoyo, obligando al esquiador a adaptarse e implicando una variación en su acción técnica, desembocando en resultados poco concluyentes. Por consiguiente, la focalización del desarrollo de un programa específico de fuerza podría disminuir las variaciones que el ergómetro provoca en los sujetos y con ello, poder tener unos resultados más adecuados.

9. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Somos conscientes de la limitación propia de la muestra de estudio empleada, futuras líneas de investigación con muestras mayores deberían de corroborar los resultados obtenidos.

En relación con la herramienta utilizada para el análisis técnico se debería de trasladar el análisis a la propia puesta de esquí ya que existen grandes diferencias técnicas a pesar de analizar un gesto propio dentro de un dispositivo diseñado para la acción de giro. Esto se debe a que es el propio aparato es el que marca el final del apoyo, obligando al esquiador a adaptarse e implicando una variación en su acción técnica. El test diseñado para este trabajo debía de hacerse a la máxima intensidad, lo que significa que de no tener un buen nivel de fuerza en el tren inferior será complicado ejecutarlo correctamente y por tanto, los resultados pueden diferir con lo que realmente pudieran ser. Por último añadir que los sujetos están fuertemente agarrados a los dos bastones que están unidos por un extremo al simulador condicionante del que pueden ayudarse para aplicar una mayor fuerza.

En relación a las plantillas empleadas durante el test con simulador de esquí. Estas han tenido limitaciones para la captura de datos puesto que la conexión de los sensores de las

plantillas no ha sido siempre la deseada. Son unas plantillas que están preparadas y diseñadas para el análisis de la marcha y la carrera, las cuales si se han utilizado en otros estudios de esquí, pero se ha observado que, a velocidades altas y presiones altas en muchos de los sujetos se han observado algunos fallos de recepción. Aspecto que ha podido limitar los resultados obtenidos.

Según el estudio realizado, parece que de no tener un buen nivel de fuerza en el tren inferior especialmente, su práctica es más costosa y por ello, pueden salir unos resultados menos válidos. Futuros estudios deberían de prestar atención a esta variable, ya que podría resultar útil determinar si su influencia puede ser la causante de la variación entre los resultados dan adversos que se han obtenido.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Cultura y Deportes. Gob España. 2019;
2. Bere T, Mok KM, Koga H, Krosshaug T, Nordsletten L, Bahr R. Kinematics of anterior cruciate ligament ruptures in World Cup alpine skiing: 2 Case reports of the slip-catch mechanism. *Am J Sports Med.* 2013;41(5):1067–73.
3. Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl C, Raas E. Physical and Physiological Factors Associated with Success in Professional Alpine Skiing. *Int J Sports Med.* 2003;24(8):571–5.
4. Gilgien M, Spörri J, Chardonens J, Kröll J, Müller E. Determination of external forces in alpine skiing using a differential global navigation satellite system. *Sensors (Switzerland).* 2013;13(8):9821–35.
5. Polat M. An examination of respiratory and metabolic demands of alpine skiing. *J Exerc Sci Fit* [Internet]. 2016;14(2):76–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jesf.2016.10.001>
6. Gross M, Hemund K, Vogt M. High Intensity Training and Energy Production During 90-Second Box Jump in Junior Alpine Skiers. *J Strength Cond Res.* 2014;28(6):1581–7.
7. Legaz-Arrese A. *Manual De Entrenamiento Deportivo.* 2014;1–37.
8. White AT, Johnson SC. Physiological Aspects and Injury in Elite Alpine Skiers. *Sport Med Eval Res Exerc Sci Sport Med.* 1993;15(3):170–8.
9. Gross M, Lüthy F, Kroell J, Müller E, Hoppeler H, Vogt M. Effects of Eccentric Cycle Ergometry in Alpine Skiers. *Int J Sport Med.* 2010;31:572–6.
10. Alhammoud M, Morel B, Hansen C, Wilson M, Mecca R, Nael E, et al. Discipline and Sex Differences in Angle-specific Isokinetic Analysis in Elite Skiers. *Int J Sports Med.* 2019;40(5):317–30.
11. C H. 14 Balance ability and athletic performance. *Sport Med.* 2011;41(3):221–32.
12. Martínez A, Jahnel R, Buchecker M, Snyder C, Brunauer R, Stöggl T. Development of an automatic alpine skiing turn detection algorithm based on a simple sensor setup. *Sensors (Switzerland).* 2019;19(4):1–12.
13. Vaverka F, Vodickova S, Elfmark M. Kinetic analysis of ski turns based on

- measured ground reaction forces. *J Appl Biomech.* 2012;28(1):41–7.
14. Falda-Buscaiot T, Hintzy F, Rougier P, Lacouture P, Coulmy N. Influence of slope steepness, foot position and turn phase on plantar pressure distribution during giant slalom alpine ski racing. *PLoS One.* 2017;12(5):e0176975.
 15. Hébert-Losier K, Supej M, Holmberg HC. Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers. *Sport Med.* 2014;44(4):519–33.
 16. Brodie M, Walmsley A, Page W. Fusion motion capture: A prototype system using inertial measurement units and GPS for the biomechanical analysis of ski racing. *Sport Technol.* 2008;1(1):17–28.
 17. Stöggl T, Kröll J, Helmberger R, Cudrigh M, Müller E. Acute effects of an ergometer-based dryland alpine skiing specific high intensity interval training. *Front Physiol.* 2018;9(OCT):1–11.
 18. Yu G, Jang YJ, Kim J, Kim JH, Kim HY, Kim K, et al. Potential of IMU sensors in performance analysis of professional alpine skiers. *Sensors (Switzerland).* 2016;16(4):1–21.
 19. Nakazato K, Scheiber P, Müller E. A comparison of ground reaction forces determined by portable force-plate and pressure-insole systems in alpine skiing. *J Sport Sci Med.* 2011;10:754–62.
 20. Supej M, Hébert-Losier K, Holmberg HC. Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of world cup slalom skiers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(3):361–8.
 21. Jidovtseff B, Croisier JL, Lhermerout C, Serre L, Sac D, Crielaard JM. The concept of iso-inertial assessment: Reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinet Exerc Sci.* 2006;14(1):53–62.
 22. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med.* 2010;31(5):347–52.
 23. Nacleiro Ayllón F, Figueroa J. Determinación de los niveles de fuerza máxima aplicada, velocidad y potencia por medio de un test creciente en pres de banca plano, en levantadores españoles. *Mot - Eur J Hum Mov.* 2006;15(15):21.
 24. Pantoja García D, Santos Leyva J, Nacleiro Ayllón F. Relación entre los parámetros de fuerza, potencia y velocidad, en jugadoras de softball. *Kronos Rev Univ la Act física y el Deport.* 2004;(6):13–20.

25. Lee HT, Kim YJ, Kim YS. Étude Cinématique Sur Un Simulateur De Ski Avec Ou Sans Chaussures De Ski. *Sci Sport* [Internet]. 2017;32(1):e9–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scispo.2016.07.008>
26. Petra P, Petra M, Vladimir S, Ivan A. Differences in The Timing of Baseball Swing in Different Condition for Hitting of Elite Baseball Players in The Czech Republic. Vol. 53, 11th International Conference on Kinanthropology. 2017. 97 p.
27. Lee HT, Roh HL, Kim YS. Cardiorespiratory endurance evaluation using heart rate analysis during ski simulator exercise and the harvard step test in elementary school students. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(2):641–5.
28. Lee HT, Kim YJ, Roh H lyun. Changes in the lower limb joint angle during the simulated skiing. *J Phys Ther Sci*. 2012;24(6):471–4.
29. Shakouri E, Mossayebi A, Manafi B. Designing and fabricating a novel medical insole with universal fluid layer with auto-customizability. *Proc Inst Mech Eng Part H J Eng Med*. 2020;234(8):864–73.
30. Hurkmans HLP, Bussmann JBJ, Benda E, Verhaar JAN, Stam HJ. Accuracy and repeatability of the Pedar Mobile system in long-term vertical force measurements. *Gait Posture*. 2006;23(1):118–25.
31. Portney L, Watkins M. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*. Up Saddle River NJ Pearson/Prentice Hall. 2009;892.
32. Bejarano MA, Najanjo J. Lateralidad y rendimiento deportivo. *Arch Med del Deport*. 2014;31(3):200–4.
33. Parajón M, Augusto M. Diferencia entre hombres y mujeres entrenados a una carga de fuerza dinámica. *Rev Digit - Buenos Aires*. 2009;132.
34. Nourrit D, Delignières D, Caillou N, Deschamps T, Lauriot B. On discontinuities in motor learning: A longitudinal study of complex skill acquisition on a ski-simulator. *J Mot Behav*. 2003;35(2):151–70.
35. Nourrit D. L'étude de l'évolution des coordinations dans l'acquisition des habilités complexes [The evolution of coordination during the acquisition of complex skills]. Unpubl Dr Diss Univ Montpellier I, Fr. 2000;
36. Searle A, Spink MJ, Chuter VH. Prevalence of ankle equinus and correlation with foot plantar pressures in people with diabetes. *Clin Biomech* [Internet]. 2018;60(October):39–44. Available from:



<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.10.006>

37. Kersting UG, Kurpiers N, Hild E, Kiefmann A, Senner V. Comparison of a six degree of freedom force sensor and pressure insole measurements in selected skiing manoeuvres. *Emed Sci Meet ESM Provid RI, USA*. 2010;55.
38. Yoneyama T, Kitade M, Osada K. Investigation on the ski-snow interaction in a carved turn based on the actual measurement. *Procedia Eng*. 2012;2:2901–6.

11. ANEXOS

➤ Anexo 1

Informe Favorable Trabajos académicos



Dña. María González Hinjos, Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

CERTIFICA

1º. Que el CEIC Aragón (CEICA) ha recibido y revisado la propuesta del Trabajo:

Título: Evaluación de la carga interna en la sesión específica de entrenamiento en esquí alpino.

Alumno: Pol Noguera Vallverdú

Tutores: Alejandro Gómez Brutón, Isaac López Laval

2º. Considera que

- El proyecto no vulnera la legislación ni los principios éticos aplicables.
- El Tutor/Director garantiza el respeto a los principios éticos y legales, la confidencialidad de la información, la obtención del permiso para el acceso a los datos, el adecuado tratamiento de los datos en cumplimiento de la legislación vigente y la correcta utilización de los recursos materiales necesarios para su realización.

3º. Por lo que este CEIC **considera adecuada** la realización del trabajo en estas condiciones.

Lo que firmo en Zaragoza

GONZALEZ
HINJOS MARIA
- DNI
03857456B

Firmado digitalmente
por GONZALEZ
HINJOS MARIA - DNI
03857456B
Fecha: 2021.02.10
10:02:38 +01'00'

María González Hinjos
Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)