



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Influencia de los factores biomecánicos, antropométricos y de navegación sobre el rendimiento de la técnica de sacar cuerpo en vela ligera simulada.

Autor:

Ion Chicoy García

Directores:

Dr. D. Alberto Encarnación Martínez

Dr. D. Francisco Segado Segado

Murcia, marzo de 2018



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Ciencias del Deporte

Influencia de los factores biomecánicos, antropométricos y de navegación sobre el rendimiento de la técnica de sacar cuerpo en vela ligera simulada

Autor:

Ion Chicoy García

Directores:

Dr. D. Alberto Encarnación Martínez

Dr. D. Francisco Segado Segado

Murcia, marzo de 2018



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

AUTORIZACIÓN DE LO/S DIRECTOR/ES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Alberto Encarnación Martínez y el Dr. D. Francisco Segado Segado como Directores⁽¹⁾ de la Tesis Doctoral titulada “Influencia de los factores biomecánicos, antropométricos y de navegación sobre el rendimiento de la técnica de sacar cuerpo en vela ligera simulada” realizada por D. Ion Chicoy García en el Departamento de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 22 de marzo de 2018.

Dr. D. Alberto Encarnación Martínez

Dr. D. Francisco Segado Segado

⁽¹⁾ Si la Tesis está dirigida por más de un Director tienen que constar y firmar ambos.

AGRADECIMIENTOS

Los que me conocen bien saben que no se puede vivir sin estar embarcado en cualquier tipo de proyecto o aventura, sin tener la cabeza llena de tareas, objetivos y preocupaciones, y que, antes de acabar uno de estos proyectos, ya estoy pensando en cual va a ser el siguiente. Pues bien, este proyecto, en forma de Tesis Doctoral, que tras tres años llega a su fin ha sido uno de los más bonitos y gratificantes a nivel personal que he tenido hasta el momento, pero a su vez también ha sido uno de los más duros, tanto a nivel de constancia, como de conocimientos, motivación y de un largo etcétera que todos aquellos que alguna vez se han embarcado en una Tesis Doctoral conocen. Por ello, ha sido fundamental la ayuda y el apoyo que he tenido a lo largo de estos últimos tres años y tengo la suerte de poder aprovechar este apartado para agradecer a todas aquellas personas que han estado ahí durante todo el camino y que han conseguido sacar lo mejor de mí para que a día de hoy pueda estar escribiendo estas líneas para zanjear esta aventura y poder dar el salto a la siguiente.

En primer lugar, quiero dar las gracias a las personas que más se lo merecen, sin las que esta aventura nunca habría sido posible, a Alberto Encarnación y Francisco Segado, mis directores. Quiero comenzar por Alberto, ya que por suerte o por desgracia (para él) ha sido el que más me ha sufrido. Recuerdo perfectamente el primer día que nos sentamos a hablar de esta locura, Paco me había propuesto realizar una investigación en vela y me había hablado maravillas de un biomecánico que era una máquina y con el que se podían llevar a cabo ideas muy interesantes. Recuerdo que nos sentamos en una sala los dos solos y lo primero que me preguntaste fue “¿sabes dónde te estás metiendo?”, ¡no tenía ni idea Alberto! Y a veces creo que sigo sin tenerla, pero aquí estamos por fin, cuatro años después de que empezara el máster, dispuesto a terminar lo que empezamos entonces. No tengo palabras para agradecerte la confianza que has tenido en mí, sin conocerme y sin conocer el deporte en el que íbamos a investigar, me he sentido apoyado desde el primer hasta el último día y eso ha sido uno de los motivos clave por los que he conseguido terminar este proyecto. Me has demostrado ser una de las personas más inteligentes que he conocido y

tener la paciencia suficiente para sacar lo mejor de mí en cada momento (cosa que sé que no es fácil), contigo he aprendido infinidad de cosas durante este tiempo, no sólo de nuestro ámbito sino de muchos otros, y fijándome en ti he podido generar una idea de cómo creo que debe ser un profesional de las Ciencias del Deporte. Muchísimas gracias de verdad, espero que haya merecido la pena todo el tiempo que me has dedicado, que no ha sido poco. En cuanto a Paco, tengo que agradecerte lo mucho que has confiado en mí desde el primer día para llevar a cabo este proyecto que sé que tenías en mente desde antes de conocerme. Quiero darte las gracias por permitirme haber vivido una de las mejores experiencias de mi vida investigando en lo que más me gusta que es el deporte de la vela. Gracias por compartir esa pasión conmigo, por hacer labores que no son propias de un director de tesis como enseñarme a usar la fibra de vidrio y enmasillar en condiciones, por dedicar horas por tu cuenta a la adaptación de ese simulador que a veces parecía que no tenía fin. Muchas gracias de corazón, a los dos.

En segundo lugar, me gustaría dar las gracias a mi barbero favorito quien, casualmente, también ha sido mi tutor de tesis, Aarón. Que te puedo decir que no sepas, tú que has pasado por donde estoy yo hace relativamente bien poco. Has sido uno de mis pilares de apoyo tanto académica como personalmente desde el principio de esta Tesis (si no antes). Tengo la suerte de poder considerarte mi amigo, y no todo el mundo cuenta con amigos con las misma pasión y profesión que ellos. Nunca voy a poder agradecer la motivación que me has transmitido y la ayuda que me has ofrecido. De las mejores cosas que me llevo de esta época es tu amistad, las salidas a navegar, el intercambio de ideas para solucionar el mundo de la vela, viajes a congresos, horas de prácticas, comidas, cenas y, por supuesto, cervezas. Por último, quiero agradecerte que estés en el mundo de la vela, los que llevamos muchos años en el sabemos qué hace falta más gente como tú, siempre tratando de aprender, innovar y disfrutar.

A continuación, me gustaría agradecerle a la Universidad Católica de San Antonio la oportunidad ofrecida de poder investigar en el ámbito de la vela deportiva, cosa que a día de hoy ninguna otra universidad española podría haberme ofrecido. Gracias por todos los años de formación y los recursos de los que me he podido beneficiar durante los mismos, así como del personal vinculado a la misma. Agradecer a la Universidad de Valencia, y más en concreto

a Pedro y Marina, la oportunidad de colaborar en vuestros proyectos, la ayuda y la amabilidad desinteresadas. Al CTD "Infanta Cristina" de los Narejos, así como a todo su personal por la ayuda aportada.

También me gustaría dar las gracias a todos los clubes y empresas en los que he trabajado durante estos años que ha durado mi Tesis Doctoral y a todo su personal, los cuales han comprendido mi situación y me han facilitado siempre la compaginación de ambas actividades. Gracias al Club Náutico de Santa Pola, al Real Club de Regatas de Cartagena, al Club Náutico Torre de la Horadada, Tapas Plus y Restaurant Les Clarines.

Quiero dar las gracias también a aquellas personas que han tenido directamente un papel importante en el desarrollo de esta Tesis. En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi compañero Antonio García, hemos compartido infinidad de momentos durante el desarrollo de nuestras Tesis y ha sido una de las personas que más me ha ayudado desinteresadamente, ¡por fin hemos llegado al final Anthony! También me gustaría dar las gracias a Raquel, otra de las personas que sin tener un rol dentro del equipo de trabajo de esta Tesis tiene gran culpa de que la misma se haya llevado a cabo, he aprendido muchísimo contigo (estoy seguro de que lo sabes) y aún sigo buscando la manera de agradecerte todo el tiempo dedicado, espero que podamos sacar alguna buena publicación al respecto. Por último, agradecer a Pedro Sarabia por las horas que te he robado para que me echaras una mano tanto en los estudios piloto como en las mediciones, sé que en el fondo te gusta hacer de conejillo de indias a cambio de un buen almuerzo.

Agradecer a todos los regatistas que han formado parte de este estudio, así como a sus padres y entrenadores, las horas dedicadas pacientemente a esperar ser medidos, desinteresadamente. Sin lugar a dudas, sin vosotros no se habría podido llevar a cabo esta investigación. Espero que, gracias a vuestro esfuerzo, motivado por la pasión por nuestro deporte, seamos capaces de aportar algo de conocimiento al mundo de la vela y entre todos ponerlo en el lugar que se merece.

A mis amigos, por todas las horas que hemos dejado de compartir por dedicárselas a este proyecto, vuestra comprensión y apoyo al respecto. En especial a todos aquellos que me habéis animado prácticamente cada día durante

estos tres años y a aquellos que más la han sufrido. En especial a Pablo, Chenchó y José; vosotros habéis vivido conmigo y se la fatiga que os ha producido tener que escucharme tantos y tantos días decir: “hoy no puedo, tengo que ponerme con la Tesis”, “esto está acabado ya” o “a partir de ahora me tenéis que llamar Doctor”. Muchas gracias a todos.

A mi familia, por el apoyo recibido en todo momento y en todos los sentidos. Desde el día que elegí estudiar Ciencias del Deporte hasta hoy. A mis padres por el cariño, por transmitirme la pasión por la vela, por la educación que me habéis dado, por todo lo que habéis tenido que aguantar en mis años menos buenos (y en los buenos también), por vuestro amor incondicional. A mi hermana Idoia por ser ejemplo de estudiante durante toda mi vida, por compartir la pasión y profesión por la vela. A mis tíos, por el apoyo en todo momento, en todos los sentidos, en especial a mi tía Mercedes por compartir conmigo el amor por los deportes y la Educación Física. A mis primos David y Lucía. También quiero agradecer especialmente dentro de mi familia a mi primo Chiky por haber sido un ejemplo a seguir, muchas de las cosas que he elegido hacer desde hace mucho tiempo es porque las había hecho mi primacho antes que yo, desde hacerme un piercing en la oreja, hasta estudiar lo que hemos estudiado. También ha sido un ejemplo en el ámbito profesional, lo que has hecho tu por una escuela de vela no se lo he visto hacer a nadie, ni creo que se lo vea hacer. Por ser, durante todos estos años, mi confidente, mi amigo y, más que mi primo, mi hermano mayor.

Por último, le tengo que dar las gracias a la que más se lo merece, a mi madre. Eres el mayor apoyo que tengo en todos los sentidos. Podría hacer otra Tesis solo dándote las gracias. Sé que esta no es la opción que te habría gustado que estudiase y aun así no has dejado de apoyarme en ningún momento. Eres la persona que más ha tenido que aguantar mis quebraderos de cabeza durante este proceso y espero que podamos disfrutar de los frutos que recojamos del mismo.

Gracias a todos una vez más, también a aquellos que no he mencionado en estas líneas y que de alguna manera han puesto su granito de arena en esta Tesis Doctoral. Muchísimas gracias.

A Aarón, Alberto y Paco, por la confianza y la ayuda.

A mi familia y en especial a mi madre, por su apoyo.

APORTACIÓN CIENTÍFICA DEL PROYECTO

Durante el proceso de realización de esta Tesis Doctoral se ha tratado de dar la máxima difusión posible al trabajo realizado a través de la presentación de póster y comunicaciones orales en congresos tanto nacionales como internacionales relacionados con la temática de este estudio, así como con la publicación de artículos en revistas científicas. A continuación, se detallan las actividades llevadas a cabo para ello.

- Comunicación oral **“Análisis biomecánico de la técnica de sacar cuerpo en vela ligera: revisión bibliográfica”** en la XXXVII edición del Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales, noviembre 2014, Madrid.
- Presentación de póster **“Análisis biomecánico de la técnica de sacar cuerpo en vela ligera: revisión bibliográfica”** en la II edición del Congreso GIBD de Biomecánica aplicada al deporte, noviembre 2014, Valencia.
- Publicación artículo **“Determining factors in the performance of hiking in dinghy sailing: a literatura review”** en la revista European Journal of Human Movement, 34, 15-33, junio 2015.
- Comunicación oral **“Relación entre la potencia y el rendimiento en regatistas de vela ligera”** en la XXXVIII edición del Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales, noviembre 2015, Barcelona.
- Comunicación oral **“Estudio cinemático de la navegación en vela ligera en función del bordo”** en las III Jornadas de Doctorado UCAM, junio 2017, Murcia.

RESUMEN

Dentro del deporte de la vela ligera existe una técnica determinante del rendimiento: la técnica de sacar cuerpo (TSC). Sin embargo, hoy en día, debido a las dificultades que supone medir este tipo de disciplina deportiva, por el contexto acuático en el que se desarrolla, no hay apenas conocimiento sobre la influencia de características propias de los deportistas como es su perfil antropométrico, su extensibilidad, o su raquis, sobre el rendimiento de dicha técnica. Tampoco se conoce como influye la posición adoptada por los regatistas durante la realización de la TSC ni cómo afecta la misma sobre el rendimiento de la embarcación. El objetivo de este trabajo fue describir y analizar la influencia de los factores biomecánicos, antropométricos y de navegación en el rendimiento de la TSC en vela ligera simulada. Para ello, se realizó un estudio cinemático de 30 regatistas de la clase *Laser* 4.7 mediante un sistema de análisis cinemático durante la realización de un test de navegación simulada para los dos bordos de navegación (Estribor y Babor). Además, se midió el perfil antropométrico de los regatistas, así como su extensibilidad isquiosural, extensibilidad de Psoas iliaco y las curvaturas de sus raquis.

El análisis cinemático y de variables de navegación mostró diferencias en función del bordo de navegación. Además, se concluyó que estas variables se pueden agrupar en 9 factores, de los cuales 2 correlacionan directamente con el rendimiento de la embarcación. Por otro lado, se observó que los regatistas de clase *Laser* muestran ciertas características antropométricas no propias a su proporcionalidad. De igual manera, mostraron acortamientos en isquiosurales y psoas, así como alteraciones posturales en las curvaturas raquídeas.

En conclusión, la TSC se puede describir a través de 9 factores, 2 de los cuales hacen que el rendimiento de la embarcación aumente (o disminuya). Además, el rendimiento de esta varía de un bordo a otro, por lo que los regatistas tienen un bordo "preferido". Por otro lado, la navegación en clase *Laser* conlleva adaptaciones músculo esqueléticas, así como de las curvaturas del raquis. Por último, los regatistas sufren acortamiento isquiosural y de psoas, posiblemente también por adaptación a la modalidad deportiva.

ABSTRACT

In dinghy sailing, there is a technique determining of performance: Hiking technique. However, nowadays, because of the difficulties coming from the aquatic area where this discipline takes part, there is almost not evidences of how sailor's characteristics affects to performance of that technique like antropometric profile, extensibility or spine curvatures. There is not knowloedge either about how sailor's position influences during Hiking technique and how affects that on boat's performance. The main target of this study was to describe and to analyze the influence of biomechanics, antropometrics and sailing factors on hiking performance in simulated dinghy sailing. For that, a cinematic study was realized with 30 Laser 4.7 sailors by using a cinematic analysis system during the performance of a simulated sailing test for both boards (starboard and port). Furthermore, antropometric profile, hamstrings and Psoas extensibility and spine curvatures were measured.

The cinematic and sailing variables analysis showed differences depending on the navigation board. Additionally, it was also concluded that these variables can be grouped into 9 factors, 2 of which correlate directly with boat's performance. On the other hand, it was observed that sailors show certain physical characteristics not proper to their proportionality. Besides, they showed shortening in hamstrings and psoas, as well as postural alterations in spinal curvatures.

In conclusion, Hiking technique can be decribed through 9 factors, 2 of which make boat's performance increase (or dicrease). Furthermore, boat's performance changes depending on the board. On the other hand, navigation in Laser class involves muscle and spinal curvatures adaptations. Finally, sailor suffer shortness of hamstrings and psoas due to adaptation to the sport modality.

ÍNDICE

SIGLAS Y ABREVIATURAS	23
I - INTRODUCCIÓN	35
II - JUSTIFICACIÓN.....	41
2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	41
2.2. RESPUESTA FISIOLÓGICA DURANTE LA ACCIÓN DE SACAR CUERPO.....	44
2.3. RESPUESTA BIOMECÁNICA DURANTE LA ACCIÓN DE SACAR CUERPO	49
2.4. ENTRENAMIENTO.....	54
2.5. REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS	55
2.6. OTROS ESTUDIOS.....	56
2.7. INSTRUMENTAL DE REGISTRO COMÚNMENTE UTILIZADO.....	56
2.8. SIMULADORES Y METODOLOGÍAS DISEÑADAS PARA ANALIZAR EL RENDIMIENTO DURANTE LA TÉCNICA DE SACAR CUERPO.....	58
2.9. ESTUDIO EPIMEDIOLÓGICO.....	61
2.10. INFLUENCIA DE LA PRÁCTICA DEPORTIVA EN LA ANTROPOMETRÍA, EXTENSIBILIDAD Y CURVATURAS RAQUÍDEAS DE LOS DEPORTISTAS	62
2.11. LATERALIDAD EN EL DEPORTE	65
2.12. VARIABLES DE RENDIMIENTO EN VELA LIGERA	66
2.13. VELOCITY MADE GOOD (VMG).....	68
2.14. MODELOS DE RENDIMIENTO	72
2.15. IDEAS CLAVE	74
III - OBJETIVOS	77
3.1. RESUMEN ESTADO ACTUAL DEL TEMA.....	77
3.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	78
3.3. OBJETIVO PRINCIPAL	79
3.4. OBJETIVOS SECUNDARIOS E HIPÓTESIS	79
IV - MATERIAL Y MÉTODO.....	83
4.1. MUESTRA	83
4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	85
4.2.1 Variables dependientes	85
4.2.1.1 Variables de rendimiento	85

4.2.1.2 Variables cinemáticas	88
4.2.1.3. Variables cinéticas	93
4.2.2. Variables independientes	93
4.2.2.1. Variables descriptivas de la muestra.....	94
4.2.3. Variables de control	100
4.3. INSTRUMENTAL	101
4.3.1 Instrumental para la simulación de la navegación	102
4.3.1.1. Hardware del V-Sail Trainer®.....	105
4.3.1.2 Proyección de la imagen	107
4.3.2. Instrumental para el registro cinemático en 3D.....	109
4.3.2.1 Software del sistema V120: Trio.....	110
4.3.2.2 Hardware del sistema V120: Trio.....	110
4.3.3. Instrumental para el registro cinético	112
4.3.4. Instrumental para la medición de las variables antropométricas	114
4.3.5. Instrumental para la medición de las curvaturas raquídeas.....	114
4.3.5.1. Hardware del Spinal Mouse ®.....	115
4.3.5.2. Software del Spinal Mouse ®.....	116
4.3.6. Instrumental para la medición de la extensibilidad de psoas-iliaco e isquiosurales.....	117
4.3.7. Escala de Borg	119
4.4. DISEÑO.....	119
4.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	119
4.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	154
V - RESULTADOS.....	159
5.1 ESTUDIO DESCRIPTIVO	159
5.1.1 Antropometría	159
5.1.2 Curvaturas del Raquis.....	163
5.1.3. Extensibilidad.....	167
5.1.4. Bordo	168
5.2. ESTUDIO INFERENCIAL	173
5.3. ESTUDIO FACTORIAL DE COMPONENTES PRINCIPALES	175
5.4. ESTUDIO CORRELACIONAL	179
5.4.1. Correlación entre VMG y factores principales	179
5.4.1.1. Correlaciones entre VMG y Factor 3: Rendimiento de la embarcación	180
5.4.1.2. Correlaciones entre VMG y Factor 6: Rumbo de la embarcación	181
5.4.2. Correlación entre VMG, variables antropométricas, valores de extensibilidad y curvaturas raquídeas.....	181
5.4.2.1. Correlaciones entre VMG y variables antropométricas.....	184

ÍNDICE	21
5.4.2.2. Correlaciones entre VMG y valores de extensibilidad	184
5.4.2.3. Correlaciones entre VMG y curvaturas raquídeas	184
VI - DISCUSIÓN	187
6.1. ANTROPOMETRÍA, CURVATURAS RAQUÍDEAS Y EXTENSIBILIDAD	187
6.1.1. Antropometría	188
6.1.2. Curvaturas del raquis.....	191
6.1.3. Extensibilidad isquiosural y de Psoas-iliaco.....	194
6.2. DIFERENCIAS EN LA NAVEGACIÓN EN FUNCIÓN DEL BORDO.....	195
6.2.1. Cinemática angular miembro superior e inferior	195
6.2.2. Centro de gravedad (CDG) del sujeto	199
6.2.3. Momento de sacar cuerpo (Hiking Moment)	200
6.2.4. Variables de navegación.....	202
6.3. FACTORES DE RENDIMIENTO	206
6.3.1. Factores	207
6.4. CORRELACIONES.....	209
6.4.1. Correlaciones entre VMG y factores de rendimiento.....	209
6.4.1.1. Correlaciones entre VMG y Factor 3 “Rendimiento de la embarcación”	209
6.4.1.2. Correlaciones entre VMG y Factor 6 “Rumbo de la embarcación”	212
6.4.2. Correlaciones entre VMG, variables antropométricas, valores de extensibilidad y curvaturas raquídeas	214
6.4.2.1. Correlaciones entre VMG y variables antropométricas.....	214
6.4.2.2. Correlaciones entre VMG y valores de extensibilidad	215
6.4.2.3. Correlaciones entre VMG y curvaturas raquídeas	216
VII CONCLUSIONES.....	220
7.1. CONCLUSIONES A LAS HIPÓTESIS	220
7.2. IMPLICACIONES PRÁCTICAS.....	222
VIII –LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .	229
8.1. LIMITACIONES.....	229
8.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	231
IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	235

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Adrizar: poner recta u horizontal la embarcación.

Arribar: alejar la proa de la embarcación de la dirección del viento.

Banda: parte de la embarcación en la que va sentado el regatista.

Barlovento: de donde viene el viento, con respecto a un punto o lugar determinado.

Caña del timón: palanca encajada en la cabeza del timón con la cual se maneja el mismo.

Ceñida: rumbo de navegación a vela más ajustado o cerrado al viento, utilizado para ir hacia barlovento.

Cincha: tira de lona que sirve para sujetar los pies a la embarcación situada en la línea medial de la misma y que permite poder sacar el cuerpo fuera de la banda (en algunas embarcaciones consiste en dos tiras en vez de una).

Culeras: prenda de navegación que ayuda a aumentar el confort y reducir el estrés sufrido en la parte posterior del muslo de los regatistas por el contacto continuo con la banda de la embarcación.

Eje de crujía: es el plano que divide, de proa a popa, la embarcación en dos mitades simétricas (bandas de babor y estribor).

Escota: cabo que sirve para regular la tensión de las velas, cazándolas (tensando) o amollándolas (aflojando) en función de la dirección e intensidad del viento.

Empopada: rumbo de navegación a vela en el que se navega a favor de la dirección del viento, con el viento entrando por la Popa de la embarcación.

EPR: test de elevación de la pierna recta.

HM: *hiking moment*. En castellano “momento de sacar cuerpo”.

IMC: índice de masa corporal.

ISAK: Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (*International Society for Advancement in Kinanthropometry*).

Nudos: unidad de velocidad en navegación, que equivale a una milla por hora (1.862 m/s).

Orzar: acercar la proa de una embarcación a la dirección del viento

Pl: pliegue

Popa: parte posterior de una embarcación

Pr: perímetro

Proa: parte delantera de una embarcación

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

Sotavento: parte a la que se dirige el viento. Con respecto a una embarcación, parte por la que sale el viento. Opuesto a barlovento.

Timón: pieza articulada que sirve para gobernar una embarcación.

Virada: cambio de dirección de una embarcación en movimiento. El viento pasa de entrar por una banda de la embarcación a la otra.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Par adrizante	36
Figura 2. Técnica de sacar cuerpo desde la cincha	41
Figura 3. Características posiciones de sacar cuerpo	43
Figura 4. Porcentaje de artículos considerados en función de la categoría a la que pertenecen	44
Figura 5. Aclaración de los términos para el cálculo de la DSC.....	52
Figura 6. Banco simulador sacar cuerpo.....	58
Figura 7. Dinamómetro para test dinámico	60
Figura 8. Concepto fórmula VMG.....	70
Figura 9. Resultantes VMG en función del rumbo de la embarcación.....	71
Figura 10. Mapa de polares para 4 intensidades de viento distintas.....	71
Figura 11. Distintas modalidades embarcación <i>Laser</i>	83
Figura 12. Ángulo con respecto al viento	87
Figura 13. Ángulo de escora calculado mediante el análisis cinemático	88
Figura 14. Ejes de coordenadas CDG	89
Figura 15. Ángulo sujeto-embarcación	91
Figura 16. Hiking Moment	93
Figura 17. Representación de la navegación en los diferentes bordos	94
Figura 18. Variables de control del manejo del simulador.....	100
Figura 19. Visión de la simulación por parte del regatista.....	103
Figura 20. Indicadores del viento en simulación.....	104
Figura 21. Hoja de cálculo generada por el software del simulador	105

Figura 22. Embarcación del simulador adaptada a clase <i>Laser</i>	106
Figura 23. Medidas de proyección y distancia al sujeto.	108
Figura 24. Situación del proyector.....	109
Figura 25. Sistema V120: Trio.....	110
Figura 26. Volumen de captura cámaras V120: TRIO.....	111
Figura 27. Distancia del sistema en relación al simulador.....	112
Figura 28. Célula de carga.....	113
Figura 29. Kit antropométrico.....	114
Figura 30. Spinal Mouse®.....	115
Figura 31. Presentación de los datos por el software.....	116
Figura 32. Goniómetro reglado.....	117
Figura 33. Inclinómetro digital.....	118
Figura 34. Cajón flexómetro.....	118
Figura 35. Embarcación Laser.....	126
Figura 36. Corte de la embarcación.....	126
Figura 37. Refuerzos aplicados a la embarcación.....	127
Figura 38. Colocación de los sistemas de timón, escota y brazo hidráulico.....	128
Figura 39. Simulador adaptado a embarcación <i>Laser</i>	128
Figura 40. Material fungible.....	129
Figura 41. Diagrama fase de intervención.....	131
Figura 42. Test EPR pasivo.....	133
Figura 43. Test de Thomas adaptado.....	134
Figura 44. Sujeto en bipedestación.....	136
Figura 45. Sujeto en bipedestación autocorregida.....	137
Figura 46. Test dedos-planta.....	138
Figura 47. Test Toe-Touch.....	139

Figura 48. Test sedestación relajada	140
Figura 49. Instrumentación del sujeto	142
Figura 50. Test Final (Estribor y Babor).	147
Figura 51. Hoja de registro datos antropométricos individual	148
Figura 52. Hoja Excel con datos de antropometría preparados para su análisis .	149
Figura 53. Hoja de datos curvaturas raquídeas	150
Figura 54. Archivo generado por el software del simulador. Información sobre valores de las variables de navegación	151
Figura 55. Hoja de resultados cámaras 3D, simulador y célula de carga.....	154
Figura 56. Somatocarta regatistas Laser 4.7.....	163
Figura 57. Valores que mostraron diferencias significativas entre bordos.....	174
Figura 58. Distribución porcentual de los factores obtenidos a través de ACP ...	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales resultados de estudios de ámbito fisiológico	46
Tabla 2. Porcentaje de activación muscular durante la acción de sacar cuerpo	48
Tabla 3. Ángulos de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera en función de la intensidad del viento y del tipo de embarcación.....	51
Tabla 4. Principales resultados de los estudios biomecánicos	53
Tabla 5. Instrumentos de medida para variables fisiológicas y biomecánicas	57
Tabla 6. Características de la muestra.....	84
Tabla 7. Fases de la investigación.....	121
Tabla 8. Test de navegación	145
Tabla 9. Perfil antropométrico de los regatistas	160
Tabla 10. Descripción de la proporcionalidad (valores Z) de los regatistas.....	161
Tabla 11. Variables derivadas de las medidas antropométricas	162
Tabla 12. Descriptivos curvaturas raquídeas regatistas	164
Tabla 13. Resultados test de flexibilidad de los regatistas.....	167
Tabla 14. Estadísticos descriptivos cinemática angular miembro superior en función del bordo	169
Tabla 15. Estadísticos descriptivos cinemática angular miembro inferior en función del bordo	170
Tabla 16. Estadísticos descriptivos del CG en función del bordo.....	171
Tabla 17. Estadísticos descriptivos <i>Hiking Moment</i> en función del bordo	172
Tabla 18. Estadísticos descriptivos variables navegación en función del bordo .	173
Tabla 19. Diferencias entre bordos	174

Tabla 20. Relación entre variables iniciales y factores obtenidos a través de ACP	176
Tabla 21. Correlaciones significativas entre VMG y las variables componentes de los factores 3 y 6.....	180
Tabla 22. Correlaciones entre VMG, variables antropométricas, de extensibilidad y curvaturas raquídeas.....	183
Tabla 23. Correlaciones entre variables de escora y variables <i>hiking</i>	212

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Informe del Comité de Ética.	251
ANEXO 2. Consentimiento informado.	252
ANEXO 3. Hoja informativa.....	255
ANEXO 4. Escala de Borg.	259
ANEXO 5. Protocolo para mediciones de las curvaturas del raquis.	260
ANEXO 6. Método simplificado para el cálculo de centros de gravedad por segmentos de forma indirecta.	261

I - INTRODUCCIÓN

I - INTRODUCCIÓN

Uno de los factores determinantes de rendimiento, común a todas las clases de vela ligera es la técnica de sacar cuerpo (De Vito, Di Filippo, Felici & Marchetti, 1993; Sekulic et al., 2006). Esta técnica varía dependiendo del tipo de embarcación, en algunas clases dobles el tripulante saca cuerpo con la ayuda de un trapecio y arnés, extendiéndose completamente fuera de la embarcación, manteniendo en ella solo la planta de los pies como apoyo en la banda; en la mayoría de las embarcaciones individuales (y los patrones de las embarcaciones dobles), es donde los regatistas sacan cuerpo extendiéndose lo máximo posible sobre la banda de la embarcación, usando para ello una cincha que sirve para sostener dicha posición apoyándose en ella con los empeines. Sprada et al. (2007) sugieren que una técnica de sacar cuerpo eficiente produce menor escora de la embarcación, que a la vez conlleva una reducción de la resistencia hidrodinámica, una mayor altura del centro vélico, mayor ganancia de plano antideriva y, en consecuencia, aumenta la velocidad y rendimiento de la embarcación.

Junto con los aspectos tácticos y estratégicos, el rendimiento en vela ligera podría estar directamente relacionado con la capacidad del regatista de contrarrestar las fuerzas externas que actúan sobre la embarcación, haciendo referencia en este caso a la fuerza aplicada por el viento sobre las velas, las cuales tienden a escorarla. Castagna y Brisswalter (2007) afirman que el total de fuerzas aplicadas por el viento sobre la vela en el plano horizontal se puede dividir en dos componentes: uno lateral, perpendicular al eje principal de la embarcación (línea de crujía) que tiende a escorarla; y un segundo, que es utilizado durante la navegación para que el barco avance. Por lo tanto, el principal medio para mantener el barco horizontal, o adrizado, sin perder velocidad es mediante la acción de sacar cuerpo, la cual dependerá del peso del regatista y de su capacidad para realizar y mantener el tiempo necesario este gesto, mejorando así la velocidad y el rendimiento de la embarcación; por este hecho se considera al regatista en vela ligera, el principal regulador del “par adrizante”, es decir, el factor o momento de fuerza que contrarresta al “par escorante”, acción del viento

sobre las velas (ver Figura 1). Blackburn y Hubinger (1995) afirmaron que, en regatistas de vela ligera, la correlación entre su resistencia sacando cuerpo y su rendimiento en regatas fue 0,82, aunque estos resultados fueron obtenidos basándose en test estáticos, sin definir de forma concisa como se evaluó el rendimiento.

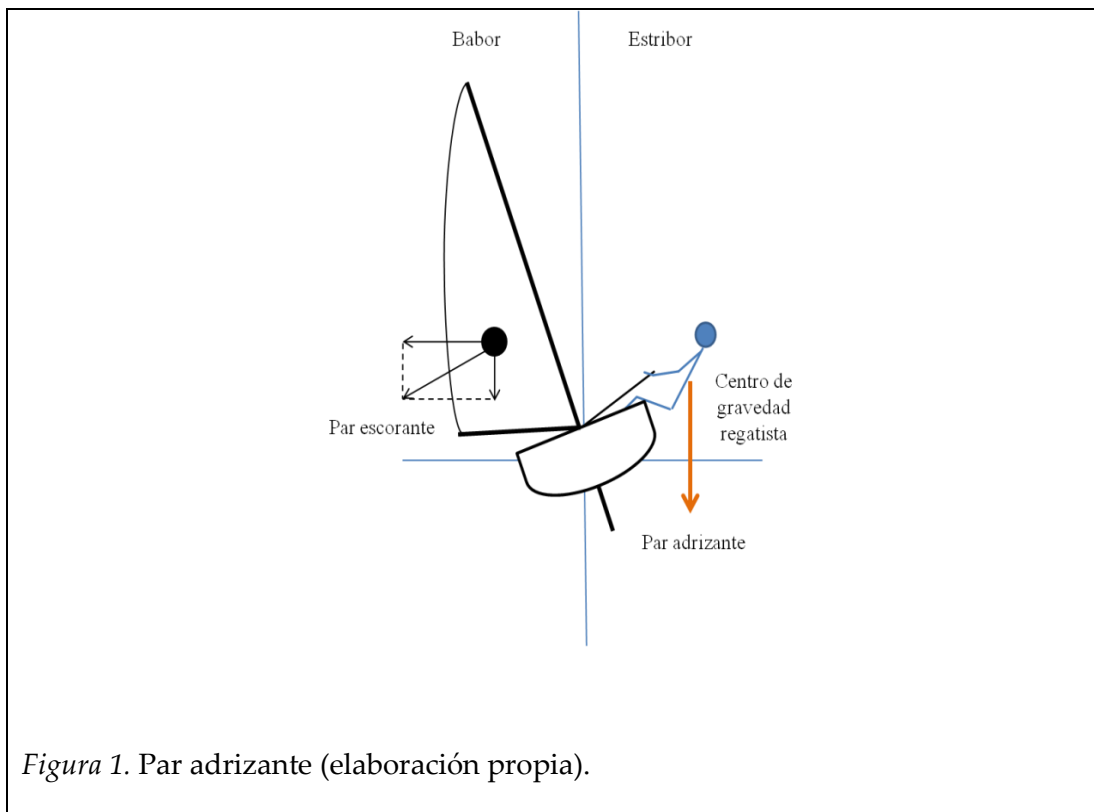


Figura 1. Par adrizante (elaboración propia).

Sin embargo, son escasos los estudios hallados que han abarcado este tema, por lo que no existen evidencias suficientes que demuestren la importancia sobre la misma, desconociéndose aún el efecto de diversos factores como la intensidad del viento, el bordo de navegación, el nivel de rendimiento de los regatistas o los aspectos de la técnica que más determinan el rendimiento de la embarcación. Además, los estudios analizados se caracterizan por usar metodologías completamente dispares entre ellos a la hora de medir factores influyentes en el rendimiento de la técnica, lo que hace muy difícil poder comparar los datos obtenidos y extrapolar conclusiones sobre los mismos.

Este trabajo tiene como objetivo principal conocer y describir los factores que modulan el rendimiento durante la navegación en clase *Laser* 4.7. Para ello, se analizarán variables relacionadas con el rendimiento de la embarcación, la antropometría del sujeto, y las características cinéticas y cinemáticas durante la acción de sacar cuerpo en situación de navegación simulada.

II - JUSTIFICACIÓN

II - JUSTIFICACIÓN

2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En vela ligera existen muchos tipos de embarcaciones, las cuales pueden ser clasificadas atendiendo a diversas características y consideraciones, resultando complejo encontrar una clasificación única/general (individuales o dobles, monocasco o multicasco, con aparejo fijo, con aparejo móvil, etc.). Todas requieren de adaptaciones en su navegación, pero un aspecto técnico que no cambia de unas embarcaciones a otras es la necesidad de sacar cuerpo para adrizar la embarcación cuando la intensidad del viento lo precisa. A la hora de sacar cuerpo existen dos técnicas, una mediante trapecio y otra, la más extendida, traccionando desde la cincha y sacando el cuerpo por fuera de la banda de la embarcación, donde el regatista desplaza su centro de gravedad, alejándolo lo máximo posible del centro de gravedad de la embarcación con el objetivo de mantener la misma lo más plana o adrizada posible, siempre con sus pies traccionando desde la cincha (ver Figura 2) (De Vito, Di Filippo, Felici & Marchetti, 1993; Sekulic, Medved, Rausavljevi & Medved, 2006).

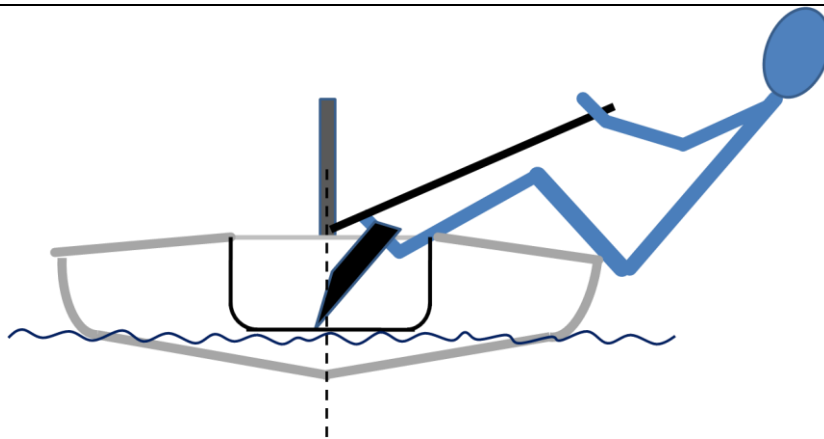


Figura 2. Técnica de sacar cuerpo desde la cincha (elaboración propia).

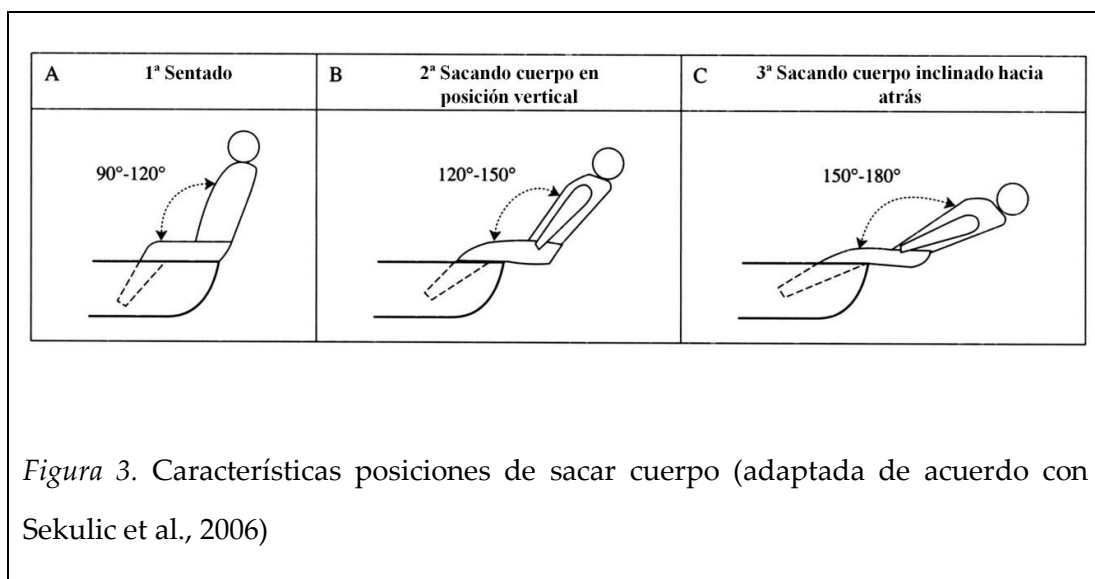
Esta técnica es necesaria debido a que la acción del viento sobre las velas escora el barco, lo que aumenta su resistencia, baja la altura del centro vélico, reduce el plano antideriva y disminuye su velocidad y ángulo de ceñida, haciendo fundamental el uso de la técnica de sacar cuerpo para corregir la posición de la embarcación con el objetivo de facilitar su deslizamiento y, por tanto, mejorar su velocidad y rendimiento general (De Vito et al., 1993; Sekulic et al., 2006).

Con el propósito de estabilizar la embarcación, contrarrestando la acción del viento sobre las velas, el regatista mantiene sus pies enganchados en la cincha cerca de la línea central del barco o línea de crujía, y mantiene el miembro inferior sobre el borde de la embarcación para poder ejercer la fuerza correcta y mantener el barco en posición horizontal (Putnam, 1979).

La técnica de sacar cuerpo es, según algunos autores, la maniobra con mayor demanda fisiológica en vela ligera (Larsson et al., 1996; Sekulic et al., 2006), caracterizada por las fuertes contracciones isométricas de la musculatura implicada: cuádriceps, isquiosurales, músculos paravertebrales y abdominales (Bourgois et al., 2015; Bourgois et al., 2017; Larsson et al., 1996; Tan et al., 2006). Esta técnica, dependiendo de algunos factores como el tipo de embarcación o el peso del regatista, se emplea cuando el viento sobrepasa aproximadamente los 8 nudos de intensidad, a partir de los cuales el regatista comienza a sacar cuerpo, extendiéndose completamente con 12 o más nudos, siempre dependiendo como hemos dicho anteriormente del peso y envergadura del regatista (Sekulic et al., 2006). Teniendo en cuenta que, una regata se lleva a cabo a partir de los 3-4 nudos de intensidad hasta los 25-30 nudos, dependiendo de la clase de embarcación, la técnica de sacar cuerpo está presente en la gran mayoría de pruebas; utilizándose un 60% del tiempo que dura cada una de ellas (Bourgois et al., 2017).

Según Blackburn (2006), Felici, Rodio, Madaffari, Ercolani, & Marchetti (1999), Sekulic et al. (2006) esta técnica no se sostiene más de 20 segundos de forma continuada, sino que el regatista va realizando ajustes de posición encima de la embarcación, quedando definidas 3 posiciones principales: sentado, sacando cuerpo en posición vertical y sacando cuerpo inclinado hacia atrás (ver Figura 3). En rumbos como la empopada (a favor del viento) los ajustes del regatista son

más cercanos a la posición de sentado (A), independientemente de las condiciones de viento, ya que la acción del viento sobre las velas no tiende a escorar prácticamente la embarcación. En el rumbo de través (perpendicular al viento), en el rumbo de largo (oblicuo a favor del viento) y en el rumbo de ceñida (a 45° oblicuo en sentido opuesto del viento) con vientos débiles (0 a 7 nudos), los ajustes del regatista se aproximan a la posición perpendicular con respecto a la banda (B); mientras que en el rumbo de ceñida con vientos medios (8 a 12 nudos) y en los rumbos de través y de largo con vientos fuertes (a partir de 13 nudos) comienza a perder esa perpendicularidad y los ajustes se van acercando cada vez más a la posición de sacar cuerpo inclinado hacia atrás (C); por último, el regatista saca cuerpo inclinado hacia atrás en el rumbo de ceñida con vientos fuertes y en las viradas (Blackburn, 2006; Felici et al., 1999; Sekulic et al., 2006).



Recientemente Chicoy y Encarnación-Martínez (2015) describieron la técnica de sacar cuerpo mediante una revisión de la literatura, en la cual presentaron la distribución de los artículos analizados en función de los objetivos principales de cada estudio y del tipo de variables estudiadas (ver Figura 4).

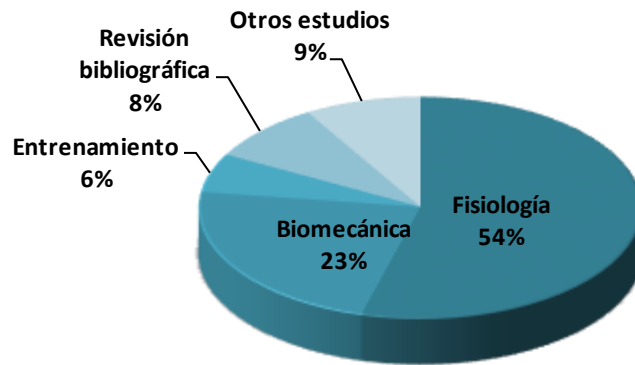


Figura 4. Porcentaje de artículos considerados en función de la categoría a la que pertenecen (Chicoy & Encarnación-Martínez, 2015).

A continuación, se describen los principales hallazgos en las diferentes categorías:

2.2. RESPUESTA FISIOLÓGICA DURANTE LA ACCIÓN DE SACAR CUERPO

Las investigaciones sobre la respuesta fisiológica durante la posición de sacar cuerpo han sido el ámbito de estudio con mayores aportaciones científicas en los últimos años dentro del deporte de la vela ligera. Al ser considerada la maniobra con mayor demanda fisiológica en vela ligera (Larsson et al., 1996; Sekulic et al., 2006), las investigaciones realizadas sobre los aspectos condicionantes en la técnica de sacar cuerpo, han tratado de esclarecer las variables decisivas en dicha técnica con el fin de conocerlas y poder mejorarlas para el consiguiente aumento del rendimiento de los regatistas durante la navegación.

Uno de los puntos que más interés despierta (Manzanares, Segado & Menayo, 2012) es el conocimiento de la intensidad del esfuerzo producido, para el

cual se analizaron, entre otras, variables como el VO_2 , la presión arterial, el ritmo cardiaco y el lactato en sangre (Callewart, Boone, Celie, Clercq & Bourgouis, 2013; Castagna & Brisswalter, 2006; Cunningham & Hale, 2007; Felici et al., 1999; Vangelakoudi, Vogiatzis & Geladas, 2007; Vogiatzis, Tzineris, Athanasopoulos, Georgiadou & Geladas, 2007).

Como se puede observar en la Tabla 1, los resultados obtenidos por cada autor son difíciles de comparar entre sí, ya sea debido al sistema de medida utilizado para la medición del VO_2 , o a las grandes diferencias entre los datos debido al uso de metodologías dispares entre estudios. Aun así, se puede concluir que el VO_2 de un regatista sacando cuerpo estaría entorno al 58% de su VO_2 máx. (Cunningham & Hale, 2007). En cuanto a la frecuencia cardiaca, parece que no existen grandes diferencias entre expertos y principiantes (Brisswalter, 2006; Vangelakoudi et al., 2007), sin embargo, no se puede establecer una frecuencia cardiaca media debido a la gran diferencia entre los resultados. El lactato en sangre también muestra grandes diferencias entre estudios, una vez más debido a la diferencia entre metodologías, al igual que en aquellos estudios que han utilizado la presión arterial como variable de rendimiento.

Todos los estudios mostrados en la Tabla 1 miden variables fisiológicas de los regatistas mientras éstos realizan la técnica de sacar cuerpo, sin embargo, se puede observar que los resultados obtenidos por los distintos autores para las mismas variables son muy dispares entre algunos estudios. Esto se puede deber como ya hemos apuntado anteriormente a que la metodología utilizada por cada investigación es muy dispar.

Tabla 1

Principales resultados de estudios de ámbito fisiológico.

	VO ₂ máx. (ml/kg/min)	Frecuencia cardiaca (pul/min)	Lactato en sangre (mmol/L)	Presión arterial (mmHg)
Blacburn (1994)			2,32 ± 0,8	Sistólica: 172 ± 18 Diastólica: 100 ± 14
Callewart et al. (2013)	22.2 ± 3.8	136 ± 17		115 ± 20
Castagna & Brisswalter (2006)	<i>Expertos:</i> 58.2 ± 4.7 <i>Principiantes:</i> 55.9 ± 6.9	<i>Expertos:</i> 192 ± 4.3 <i>Principiantes:</i> 189 ± 4.2	<i>Expertos:</i> 8.4 ± 1.5 <i>Principiantes:</i> 9.1 ± 2.8	
Cunningham & Hale (2007)	58,1(%)	160	4,47	
Felici et al. (1999)	0,95 ± 0,21 (min ⁻¹)			94
Vangelakoudi et al. (2007)		<i>Expertos:</i> 149 <i>Principiantes:</i> 149		<i>Expertos:</i> 129 <i>Principiantes:</i> 120
Vogiatzis et al. (2007)	12.2 ± 2	124 ± 10	3.2 ± 0.9	

El tipo de contracción, que a su vez regula el flujo sanguíneo durante la actividad, es otro de los factores considerados importantes por los autores a la hora de esclarecer si este gesto técnico es de naturaleza estática o dinámica (Cunningham & Hale, 2007; Vogiatzis et al., 2007; Vogiatzis et al., 2011), es decir, si a la hora de sacar cuerpo el regatista se limita a mantener una posición estática o si, por el contrario, realiza otros movimientos mientras mantiene esta posición. Según estos autores, la posición de sacar cuerpo es dinámica y, en ella, el lactato en sangre es bajo debido a la re-oxigenación parcial de los músculos en los pequeños intervalos de descanso que se dan durante la posición de sacar cuerpo. Sin embargo, el vasto lateral sufre una reducción en la disponibilidad de oxígeno debido al flujo sanguíneo restringido en los cuádriceps durante los periodos isométricos de la posición de sacar cuerpo (Vogiatzis et al., 2011).

La electromiografía también ha tenido importancia en el estudio de esta técnica, diversos autores (Callewart et al., 2013; Maisetti, Boyas & Guével, 2006; Sekulic et al., 2006; Vangelakoudi et al., 2007; Vogiatzis, Spurway, Jennett, Wilson & Sinclair, 1996; Wee et al., 2010) han analizado la intervención de los músculos implicados en la técnica de sacar cuerpo con el objetivo de conocer su grado de participación en el gesto técnico (ver Tabla 2).

Tabla 2.

Porcentaje de activación muscular durante la acción de sacar cuerpo. Datos expresados en función de la máxima contracción voluntaria (%MCV).

	Cuádriceps	Vasto lateral	Recto abdominal	Tibial anterior	Cuadrado lumbar
Callewart et al., 2013		76.8 ± 29.6%			
Maïsetti et al., 2006		Dcha.: 32% Izda.: 54%	Dcha.: 32% Izda.: 37%		
Sekulic et al., 2006	Dcha.: 99% Izda.: 109%		Dcha.: 52% Izda.: 60%	Dcha.: 2% Izda.: 2%	Dcha.: 2% Izda.: 5%
Vangelakou di et al. 2007	Dcha.: 70% Izda.: 70%				
Vogiatzis et al. 1996	39%				
Wee et al., 2010		10.3%	26.8%		13%

Cabe destacar que en cada estudio se emplearon distintos protocolos para la medición electromiográfica durante la acción, pero todos ellos la calcularon a partir del porcentaje de la máxima contracción voluntaria (%MCV) obtenido mediante test previo. De estos datos se puede concluir que el músculo cuádriceps es la región muscular que más interviene en la técnica de sacar cuerpo, en cualquiera de las tres posiciones (ver Figura 2), seguidos por el recto abdominal, el cual aumenta su participación de manera directamente proporcional a la intensidad del viento, es decir, siendo su máximo trabajo con intensidades de viento altas, donde el cuerpo se extiende completamente sobre la banda (Sekulic et al., 2006).

Por último, en relación al sistema energético implicado en la técnica de sacar cuerpo, algunas investigaciones consideran esta técnica estática y anaeróbica (Manzanares et al., 2012), mientras que, otros estudios demostraron que el continuo movimiento en el que se encuentra el regatista hace de esta técnica un gesto dinámico y aeróbico casi en su totalidad, con momentos isométricos (Cunningham & Hale, 2007; Marchetti, Figura & Ricci, 1980).

2.3. RESPUESTA BIOMECÁNICA DURANTE LA ACCIÓN DE SACAR CUERPO

La técnica de sacar cuerpo ha sido estudiada por varios autores del campo de la biomecánica. El primero de ellos fue Putnam (1979), quién diseñó un modelo matemático para calcular los momentos articulares de la cadera y de la rodilla en tres posiciones distintas de sacar cuerpo. La primera posición analiza al regatista prácticamente dentro de la embarcación, la segunda comenzando a sacar cuerpo (rodilla a mitad de la banda) y la tercera con el cuerpo completamente fuera (rodilla en el borde de la embarcación); concluyendo que las dos últimas posiciones exigían mayor momento de fuerza, pero que el modo óptimo de sacar cuerpo iba a estar determinado por las características musculares individuales de cada individuo, es decir, cada regatista adoptará una posición distinta en cuanto ángulos y fuerza se refiere dependiendo de la longitud de sus extremidades y de la fuerza de las mismas.

Aagaard et al., (1998), midieron el momento máximo de fuerza isométrico, concéntrico y excéntrico de los extensores (cuádriceps), y flexores (isquiosurales) de rodilla, y de los extensores del tronco (cuadrado lumbar) con un dinamómetro isocinético. Su objetivo fue describir el perfil isocinético del regatista, comparándolo con un grupo control, y relacionarlo con el rendimiento sacando cuerpo. Dicho rendimiento fue medido de dos formas: estática y dinámica. En estático fue medido con un test hasta el agotamiento en el cual el regatista debía mantener la posición de sacar cuerpo con ángulos estáticos de 45° para rodilla y 75° para cadera; de forma dinámica se midió con el mismo test y ángulo para rodilla, pero con un ángulo dinámico de entre 45° y 60° para cadera. Se observó que el grupo de regatistas poseía una mayor fuerza excéntrica máxima que el grupo control. Además, se encontraron correlaciones entre el rendimiento

sacando cuerpo y la fuerza máxima excéntrica de los extensores de rodilla ($r_s = 0.67 - 0.74$, $p < 0.05$) y la fuerza máxima de los extensores del tronco ($r_s = 0.69 - 0.92$, $p < 0.05$). Cabe destacar que ha sido el único estudio encontrando en el que han realizado las mediciones en un entorno de navegación real, siendo todos los demás evaluados en laboratorio.

Mackie (2003), estableció como indicadores clave del rendimiento para la técnica de sacar cuerpo: los ángulos adoptados por el regatista en las articulaciones del miembro inferior (cadera, rodilla y tobillo), así como el peso (P), la altura (H), el centro de gravedad (CG) del sujeto y la distancia de sacar cuerpo (DSC) (distancia horizontal entre el centro de gravedad del regatista y el de la embarcación), a partir de los cuales se podría calcular el "momento de sacar cuerpo (MSC) = DSC x P", el cual consideró aspecto clave.

Estas variables se pueden cuantificar mediante el uso de sistemas cinemáticos (Beillot et al., 2001; Mackie, Sanders & Legg, 1999; Mackie, 2003; Sprada et al., 2007) cuando las coordenadas se obtienen mediante cámaras de vídeo con el fin de calcular el CG, la DSC y así el MSC.

Así, Mackie et al. (1999) midieron los ángulos de las articulaciones del miembro inferior adoptados por los regatistas durante la navegación (ver Tabla 3), además de la fuerza ejercida por los pies sobre la cincha y de la mano sobre la escota. La fuerza de los pies en la cincha fue de un 73-87% de la máxima contracción voluntaria (MCV) predicha. Por otro lado, la fuerza en la escota fue de 25-35% alcanzando picos de 40-50%. Ambas fuerzas fueron cuantificadas simulando todos los rumbos de navegación, siendo mayores en ceñida y menores en empopada. Los ángulos de las articulaciones de la cadera y el tobillo aumentaron cuando subió el viento durante el tramo de ceñida, mientras que el de la rodilla disminuyó.

Tabla 3.

Ángulos de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera en función de la intensidad del viento y del tipo de embarcación.

Embarcación	Intensidad viento (nudos)	Ángulo medio \pm SD (grados)		
		Tobillo	Rodilla	Cadera
Europa	8-12	145 \pm 11	155 \pm 6	114 \pm 11
	12-16	145 \pm 4	138 \pm 8	104 \pm 8
<i>Lasar</i>	8-12	155 \pm 10	149 \pm 3	113 \pm 12
	12-16	155 \pm 5	147 \pm 5	125 \pm 10
Finn	8-12	133 \pm 7	120 \pm 13	101 \pm 13
	12-16	134 \pm 9	125 \pm 11	112 \pm 8
470	8-12	131 \pm 10	164 \pm 5	102 \pm 3
	12-16	146 \pm 12	147 \pm 6	121 \pm 6

Fuente: Adaptada de Mackie et al. (1999).

Sprada et al (2007) utilizaron este mismo sistema cinemático para analizar los movimientos del raquis (ver Figura 5), identificando los movimientos y ajustes del tronco del regatista, para ello eligieron 3 ángulos en el plano sagital (ángulo de flexión del cuello, ángulo de cifosis torácica y ángulo de lordosis lumbar), el ángulo de inclinación del trono en el plano frontal y la rotación del tronco en el plano transversal. Encontraron como resultados que los músculos del tronco estaban realizando continuamente pequeños ajustes durante la técnica de sacar cuerpo, ya que el análisis de video mostró un gran número de variaciones en la columna vertebral en tan solo 10 segundos, contradiciendo así a De Vito et al. (1993) quienes consideraron el tronco como un segmento fijo e inmóvil durante la técnica de sacar cuerpo.

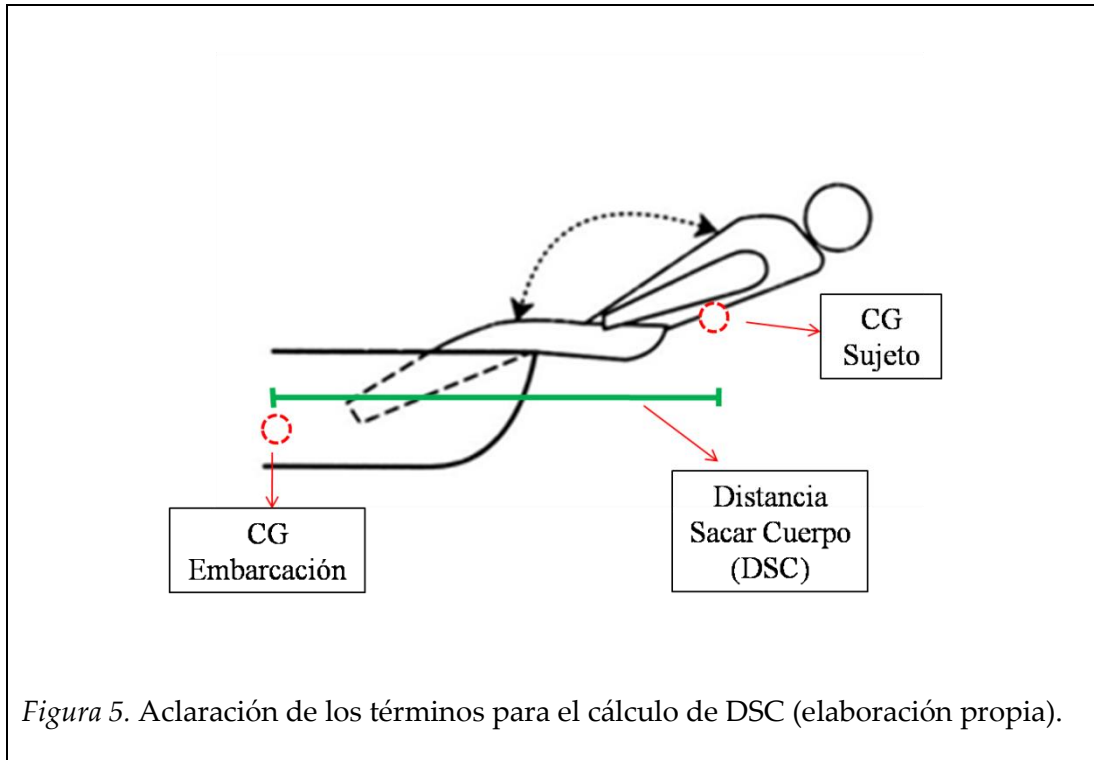


Figura 5. Aclaración de los términos para el cálculo de DSC (elaboración propia).

Como alternativa a los sistemas de análisis cinemático con los que se estaban llevando a cabo los estudios biomecánicos sobre esta técnica los últimos años, Schütz et al. (2011) desarrollaron un método dinamométrico para la evaluación de la técnica de sacar cuerpo mediante plataformas de fuerza, las cuales colocaron debajo del simulador. Consiguieron localizar el CG de la embarcación en función de la posición en la que estaba la misma (horizontal o escorada), en vez de asumir que el CG se encontraba siempre en la línea medial del barco como se había hecho en otros estudios (Mackie, 2003; Maïsetti, Guével, Ianchkine, Legros & Briswalter, 2002; Tan et al, 2006), al depender la DSC del CG del barco, una mejor localización del mismo conlleva un valor más exacto de la DSC y, en consecuencia, un valor más exacto del MSC producido por el regatista.

En la Tabla 4 se muestran en resumen los trabajos llevados a cabo desde el campo de la biomecánica.

Tabla 4.

Principales resultados de los estudios biomecánicos.

Autores	Tipo de estudio	Objetivos	Nº muestra
Putnam, 1979	Cinético	Presenta un modelo matemático con el que calcular los momentos musculares y los ángulos de las articulaciones de rodilla y cadera para la técnica de sacar cuerpo.	N=10. Hombres, sin experiencia especificada
Aagaard et al., 1998	Cinético	Describir el perfil de fuerza isocinético y su relación con el rendimiento sacando cuerpo para regatista de élite.	N=29. 21 regatistas profesionales (15 H, 6 F) y grupo control 8 voluntarios.
Mackie, Sanders & Legg, 1999	Cinético	Cuantificar la fuerza aplicada por los pies en las cinchas y por la mano en la escota. Medir los ángulos adoptados por los regatistas para las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera durante la técnica de sacar cuerpo.	N=11. Regatistas de nivel nacional e internacional, de distintas clases olímpicas.
Sprada et al., 2007	Cinemático	Evaluar movimientos y posiciones de la columna vertebral de regatistas durante la posición de sacar cuerpo.	N=1. Regatista nivel internacional.
Schütz et al., 2011	Cinemático	Desarrollar un método dinamométrico para la evaluación de la técnica de sacar cuerpo en embarcaciones tipo <i>Laser</i> .	N=3. Regatistas nivel nacional.

2.4. ENTRENAMIENTO

En cuanto al diseño y aplicación de un entrenamiento para conocer su influencia sobre el rendimiento de la técnica de sacar cuerpo, son pocos los estudios encontrados, destacando los trabajos de Spurway y Burns (1993), Wright, Clarke, Niinima y Shephard (1975), lo que nos señala la escasa investigación sobre el deporte de la vela y los factores determinantes del rendimiento del regatista.

Wright et al. (1975) diseñaron un programa de entrenamiento para regatistas de vela ligera, el cual incluía un circuito de entrenamiento, ejercicios específicos de fuerza-resistencia y carrera continua. El programa se llevó a cabo durante 14 semanas. Registraron diversas variables antes y después del entrenamiento, las cuales incluían pliegues cutáneos, observaciones antropométricas, fuerza y resistencia muscular, equilibrio, potencia aeróbica, técnica de sacar cuerpo simulada y capacidad anaeróbica. Los resultados demostraron una disminución en la masa corporal y en los pliegues cutáneos, mientras que la fuerza, la resistencia muscular, así como la capacidad anaeróbica, incrementaron. Sin embargo, la potencia aeróbica no cambió, se logró una menor deuda de oxígeno para alcanzar el máximo esfuerzo y los regatistas mostraron una mejora en la tolerancia a la fatiga cuando usaban la técnica de sacar cuerpo. Los regatistas consiguieron mejores resultados en la temporada siguiente, pero el trabajo tiene carencias metodológicas importantes que conllevan no tener en consideración los resultados presentados, como, por ejemplo, el hecho de que no haya grupo control con el que contrastar los efectos del entrenamiento.

En contraposición, Spurway y Burns (1993) concluyeron que los entrenamientos usualmente propuestos para regatistas, incluyendo el diseñado por Wright et al. (1975), los cuales solían incluir una extensa base aeróbica general, e igual resistencia o trabajo anaeróbico, estaban muy lejos del entrenamiento requerido por los músculos específicos de la técnica de sacar cuerpo. Por ello, compararon los resultados de dos entrenamientos específicos para la mejora de esta técnica, uno estático y otro dinámico.

Los sujetos realizaron 4 pruebas, relacionadas con el gesto propio de la técnica de sacar cuerpo, antes y después de las 8 semanas de entrenamiento. Se

dividieron en 2 grupos, uno de ellos llevó a cabo el entrenamiento dinámico y otro el estático. Todos los sujetos mejoraron al menos en tres de las cuatro pruebas, algunos en todas, sin que influyera de forma significativa el grupo al que pertenecía cada sujeto. En cuanto al cumplimiento y la adherencia al programa de entrenamiento, cabe destacar que fue mayor en el entrenamiento dinámico, mientras que el entrenamiento estático resultó más eficiente en cuanto al tiempo dedicado al mismo.

2.5. REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS

Pocas son las revisiones de la literatura que se centran, o incluyen algún apartado, sobre la técnica de sacar cuerpo.

Allen y De Jong (2006) revisaron los trabajos sobre medicina de la vela, a partir de los cuales definieron algunos aspectos de este deporte como: lesiones, mejora del rendimiento, nutrición e hidratación, etc. Incluyeron un apartado específico sobre la fisiología de sacar cuerpo, en el cual diferencian entre los autores que defienden la naturaleza estática de esta técnica frente a los que la consideran dinámica. Además, definieron la demanda física de esta posición como la contracción de los cuádriceps, psoas iliaco y los músculos abdominales, con el peso corporal cargando la articulación patelofemoral. Afirman también, que una técnica incorrecta suele provocar dolor en la rodilla; con la fatiga, la mayoría de los regatistas tienden a aislar el vasto lateral externo, lo que conlleva al dolor patelofemoral. Por otra parte, confirmaron lo afirmado previamente por Spurway (2007), indicando la necesidad de realizar un entrenamiento mixto entre ejercicios estáticos y dinámicos para la mejora de la técnica de sacar cuerpo.

Spurway (2007) llevó a cabo una revisión de los trabajos que describían la fisiología de esta técnica, con el fin de corroborar su concepto "*Quasi-isometric*" con el cual califica esta acción. A partir de los estudios analizados, concluyó que los signos fisiológicos eran inequívocos: frecuencia cardiaca más alta de lo necesario para impulsar la sangre a través de los músculos activos contra las presiones intramusculares elevadas (especialmente presión arterial diastólica) y alto grado de hiperventilación debido a la necesidad de proporcionar oxígeno a los músculos que están perfundidos inadecuadamente. A esto le sumó la

evidencia de que existía una parte dinámica en esta técnica (sobre todo en el miembro superior), cuando el regatista ajustaba su peso para lograr contrarrestar la escora del barco o tratar de superar la ola. A raíz de aquí propuso el término “*quasi-isometric*” como calificativo metabólico para la acción de sacar cuerpo, el cual afirma que conlleva cambios en los entrenamientos de los regatistas, los cuales deben añadir parte dinámica a la ya existente estática.

Por último, Manzanares et al. (2012) se centraron en revisar, identificar y analizar las investigaciones sobre los factores influyentes en el rendimiento deportivo en vela, realizando un trabajo en el que se recogían todos los datos mencionados en los apartados anteriores.

2.6. OTROS ESTUDIOS

Además de los estudios categorizados, existen otros trabajos relacionados directamente con la técnica de sacar cuerpo. La mayor parte de ellos utilizan un ergómetro de simulación de la navegación para medir distintas variables fisiológicas en su mayoría como VO₂ máximo, lactato en sangre o frecuencia cardiaca (Callewart et al, 2013; Gale & Walls, 2000), otros como el llevado a cabo por Jansen, Abbema y Howe (2012), desarrollaron unas culeras consistentes en 3 capas: una central más rígida para distribuir las fuerzas de impacto, una exterior que las absorbe y una última interior confortable, la que entra en contacto con la piel. Se comparó con las culeras ya existentes, obteniendo mayor sensación de confort en los regatistas y unas prestaciones similares a las que ya presentaban las culeras anteriores.

2.7. INSTRUMENTAL DE REGISTRO COMÚNMENTE UTILIZADO

En función de las variables analizadas en cada estudio, los autores han utilizado una gran diversidad de instrumentación, ya haya sido de corte fisiológico, biomecánico, o del ámbito que fuese oportuno para tratar de medir dichas variables de la manera más específica y exitosa posible. En la Tabla 5 se muestra el resumen de los instrumentos más utilizados en las investigaciones analizadas y las variables para los que han sido empleados.

Tabla 5.

Instrumentos de medida para variables fisiológicas y biomecánicas.

Instrumento	Campo	Variable
Tapiz rodante	Fisiología	Capacidad aeróbica
Analizador de gases	Fisiología	Capacidades respiratorias (VO ₂ , CO ₂)
Analizador de lactato	Fisiología	Nivel de lactato en sangre
Cicloergómetro	Fisiología	Test capacidad aeróbica
Electromiografía	Fisiología	Grado de implicación de la musculatura
Espectroscopio de infrarrojos	Fisiología	Fluidez de sangre en musculatura, oxigenación de tejidos
Pulsómetro	Fisiología	Frecuencia cardiaca
Fotogrametría	Biomecánica	Movimientos columna vertebral
Dinamómetro isocinético	Biomecánica	Fuerza isocinética. Contracción Máxima Voluntaria (CMV)
Galgas extensométricas	Biomecánica	Fuerza en escota y cincha. Contracción Máxima Voluntaria (CMV)
Goniómetro	Biomecánica	Ángulos articulaciones.
Plataforma de fuerzas	Biomecánica	Cálculo del CDG de la embarcación.

Al analizar las investigaciones llevadas a cabo en el ámbito de la vela deportiva y, más en concreto, sobre la técnica de sacar cuerpo, vemos como se han ido introduciendo nuevos instrumentos de medición con el fin de analizar nuevas variables y aumentar el conocimiento en este ámbito. Esta introducción de nuevos instrumentos ha ido de la mano de la evolución tecnológica y el desarrollo de nuevos dispositivos que permiten la medición de variables nuevas en el campo de las ciencias del deporte. En esta línea han ido también los simuladores de navegación, los cuales han evolucionado en gran medida en los últimos años.

2.8. SIMULADORES Y METODOLOGÍAS DISEÑADAS PARA ANALIZAR EL RENDIMIENTO DURANTE LA TÉCNICA DE SACAR CUERPO

En la mayoría de las investigaciones, mencionadas anteriormente, sobre la técnica de sacar cuerpo se han usado “simuladores” para intentar imitar, o llevar a cabo, la técnica de sacar cuerpo fuera del agua y así poder controlar las variables a estudiar, ya que unos de los mayores problemas que presenta la investigación en el deporte de la vela, y por la cual probablemente se encuentran tan poco estudios sobre éste, es la complejidad de medir en condiciones de práctica real, ya que al realizarse en un medio inestable (mar / viento) y en constante cambio se complica el control de las variables.

Los estudios más antiguos (Felici et al., 1999; Putnam, 1979) utilizaban bancos con pequeñas adaptaciones para que los sujetos pudieran mantener una posición parecida a la de sacar cuerpo en condiciones normales de navegación (ver Figura 6). Más adelante se fueron desarrollando nuevos ergómetros para incluir alguna variable nueva a las investigaciones (Vogiatzis et al., 1996) como la fuerza aplicada en la escota por la mano y en la cincha por los pies; llegando incluso a adaptar embarcaciones como la clase *Laser* fuera del agua para simular la técnica de sacar cuerpo (Maisetti et al., 2006; Tan et al., 2006).

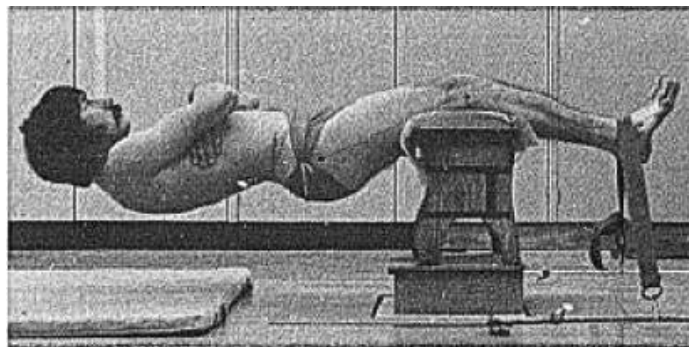


Figura 6. Banco simulador sacar cuerpo (adaptada de Putnam, 1979)

Sin embargo, todos estos ergómetros solo permiten que el sujeto lleve a cabo la técnica de sacar cuerpo de una forma estática, es decir, manteniendo una posición fija y completamente descontextualizada de la navegación. Esto supone una gran limitación, ya que está demostrado que ésta técnica no es de naturaleza estática, considerándose cuasi-isométrica (Spurway, 2006), por lo que los datos obtenidos por los estudios realizados con estos ergómetros o simuladores pueden cambiar al utilizar uno que permita realizar la técnica de sacar cuerpo de una forma más ecológica, es decir, cuasi-isométrica donde se simule la acción de navegación. Del mismo modo, estas investigaciones sólo se centraban en el rendimiento físico del regatista, no analizándose la técnica de sacar cuerpo a la vez que otros estímulos que pueden interferir en la misma como, por ejemplo, el manejo de la embarcación.

En esta línea Callewart et al. (2013), desarrollaron un ergómetro de simulación del tramo de ceñida de una regata que permitía que los regatistas pudieran llevar a cabo un test cuasi-isométrico (ver Figura 7). Los sujetos realizaban 3 series de 5 segundos sacando cuerpo al máximo para poder calcular el *Hiking Moment* (HM), siendo el HM máximo la máxima posición sostenida por el regatista sacando cuerpo. El HM requerido se calculó como un porcentaje del HM máximo. El test consistía en 18 repeticiones de 90 segundos, intercalados con 10 segundos para viradas durante los cuales el HM requerido iba variando, siendo más exigente justo antes y después de la virada, y más flojo en los momentos de recuperación.



Figura 7. Dinamómetro para test dinámico (adaptada de Callewart et al. 2013)

Con este test Callewart et al. (2013) consiguieron introducir la naturaleza dinámica de la técnica de sacar cuerpo a la ya existente estática en los test de simulación llevados a cabo en estudios sobre la técnica de sacar cuerpo. Sin embargo, esta innovadora metodología sigue contando con limitaciones, ya que el regatista se limita a realizar la técnica de sacar cuerpo en una situación aislada, es decir, no la realiza en las mismas condiciones en las que la llevaría a cabo durante una regata real, la embarcación sigue estando fija al suelo sin ningún tipo de escora, muy alejada de la situación real de navegación. En ninguna de las investigaciones revisadas sobre la técnica de sacar cuerpo se han considerado factores que influyen en la navegación, como por ejemplo la escora del barco, la inestabilidad del viento, los rivales, los cambios de banda en las viradas, etc. Los trabajos llevados a cabo hasta el momento se han limitado a simular un solo bordo (navegar en una única dirección) en la que el regatista debe mantener la postura de sacar cuerpo con el barco fijo y sin escora.

Tan solo se ha encontrado en la bibliografía un estudio con un simulador virtual que intenta suplir las carencias de los simuladores anteriores (Menayo, Manzanares, Segado & Martínez, 2016). Este simulador de navegación (VSail-Trainer®) simula la escora del barco mediante un sistema hidráulico conectado a un software desde el cual se pueden controlar otras variables como la intensidad del viento, el bordo de navegación, el recorrido a realizar, la embarcación a utilizar y un largo etcétera; aun así, sigue contando con algunas carencias como la falta de cabeceo de la embarcación proa-popa, o la tensión del timón. A pesar del avance que podría suponer este instrumento para la investigación, no ha sido utilizado hasta el momento para medir o estudiar la técnica de sacar cuerpo ni la influencia de ninguna de las variables mencionadas en el rendimiento.

2.9. ESTUDIO EPIMEDIOLÓGICO

Hemos encontrado varios estudios sobre las lesiones más frecuentes sufridas por regatistas tanto de vela crucero, con grandes embarcaciones, como de vela ligera, en este apartado nos centramos en las de vela ligera, ya que son en las que entra en escena la técnica de sacar cuerpo y, por tanto, las que pueden influir en nuestro estudio.

Allen y De Jong (2006) llevaron a cabo una revisión bibliográfica sobre todos los trabajos publicados relacionados con lesiones y vela. En uno de sus apartados hablan sobre el dolor lumbar como la lesión más común en regatistas de vela ligera y lo relaciona directamente con la técnica de sacar cuerpo, atribuyendo dicha lesión a una extensión excesiva del raquis debido a una musculatura abdominal débil o a las tensiones sufridas por la columna vertebral al sostener malas posturas, durante el uso de la técnica de sacar cuerpo en la navegación.

En esta línea, un estudio llevado a cabo por Moraes et al. (2002) con el equipo olímpico brasileño reveló que las zonas en las que más lesiones o molestias sufrían los regatistas eran: región lumbar (52.9%), otras zonas del raquis (41.2%), rodillas (25–32%), muslos (26.5%), cuello (23.5%), hombros (23.5%), y antebrazo o codo (20.6%).

Otro trabajo, realizado por Legg et al. (1997) con el equipo olímpico neozelandés, registró las lesiones sufridas por los regatistas en los 3 años anteriores, siendo las más frecuentes las siguientes: dolor lumbar (45%), rodilla (22%), hombro (18%), y brazo (15%).

2.10. INFLUENCIA DE LA PRÁCTICA DEPORTIVA EN LA ANTROPOMETRÍA, EXTENSIBILIDAD Y CURVATURAS RAQUÍDEAS DE LOS DEPORTISTAS

Para alcanzar el rendimiento óptimo en un deporte se deben poseer ciertas características y capacidades físicas, las cuales varían en función del tipo de deporte, la categoría o el nivel al que se compite (Norton & Olds, 2001).

En esta línea, muchos autores han investigado sobre la detección de talentos en base a dichas características o variables, entre las cuales destacan las dimensiones corporales, siendo los deportistas que más se aproximan a dichas dimensiones los que, a priori, más posibilidades tienen de rendir a alto nivel (Aitken, 1998). Para ello se llevan a cabo estudios de los que se obtienen perfiles antropométricos de las poblaciones practicantes de dichos deportes, así como el somatotipo característico de los mismos. Desafortunadamente, los estudios llevados a cabo hasta el momento en el ámbito de la vela ligera no han profundizado a este nivel, desconociéndose hoy en día cuáles son las características morfológicas concretas en las que debería enmarcarse un regatista que busca rendir a un nivel óptimo.

Por otro lado, siguiendo con las características específicas y exigencias que la práctica de un deporte a alto nivel exige, García (2015) propone que el entrenamiento que llevan a cabo deportistas de alto nivel, con altos volúmenes de trabajo, en posiciones específicas del deporte, con acciones articulares repetitivas, podría generar adaptaciones en el sistema músculo-esquelético. Según este autor, la adopción de posturas específicas a una práctica deportiva concreta, sumada a la repetición sistemática de determinados gestos técnicos, puede influir en la disposición sagital del raquis de los deportistas. Por ejemplo, Uetake et al. (1998) encontraron valores de cifosis torácica menor a la media al analizar a una muestra de 380 jugadores de fútbol. De hecho, al analizar la bibliografía sobre este tema se encuentran un gran número de artículos que estudian este aspecto en diversos

deportes (López-Miñarro et al., 2007a, 2008a, 2008d; Muyor, Sánchez-Sánchez, Sanz-Rivas & López-Miñarro, 2013; Nilsson, Wykman & Leanderson, 1993; Pastor, 2000; Sainz de Baranda et al., 2001). Sin embargo, al analizar los artículos relacionados con vela ligera, y más en concreto con la TSC, no se han encontrado estudios que hayan analizado el raquis de regatistas, en ninguna modalidad.

Por otro lado, aunque en relación con lo comentado hasta el momento, según García (2015), las posturas y gestos técnicos de un deporte también pueden influir en la extensibilidad de los deportistas. Ferrer (1998) y Pastor (2000) encontraron una asociación significativa entre una reducida extensibilidad isquiosural y el porcentaje de lesiones en el raquis lumbar. En vela ligera no se han encontrado estudios que valoren la extensibilidad de los regatistas; sólo Shepard (1997) y Allen y De Jong (2006) usaron sus revisiones bibliográficas para destacar la importancia que puede tener un buen trabajo de extensibilidad para evitar lesiones en los regatistas y concluir que la mayoría, incluso los de nivel olímpico, no dan importancia al trabajo de su extensibilidad.

Como se ha mencionado anteriormente, multitud de investigaciones han estudiado la influencia de la flexibilidad en las curvaturas raquídeas en el ámbito deportivo (Esparza-Ros, Escobar-Badía, Esparza-Ros & Vaquero-Cristobal., 2014; López-Miñarro, Muyor, Belmonte & Alacid., 2012; López-Miñarro, Muyor & Alacid., 2013; Muyor, Alacid, Rodríguez-García & López-Miñarro., 2012; Muyor, Sánchez-Sánchez, Sanz-Rivas, & López-Miñarro., 2013; Vaquero-Cristobal, Muyor, Alacid & López-Miñarro., 2012). A partir de estos estudios se han obtenido las técnicas validadas y más utilizadas para la medición tanto de la extensibilidad de la musculatura isquiosural y del psoas-iliaco, cómo de valoración de las curvaturas del raquis.

En cuanto a la valoración de las curvaturas del raquis, la mayoría de las investigaciones previas se centraron en el análisis de la columna en posición de bipedestación (Muyor, 2010; Santoja, Pastor & Serna, 2000), concluyendo que las curvaturas del raquis poseen amplios márgenes dentro de los que se las considera normales, considerándose que existen desalineaciones cuando dichas curvaturas exceden o no llegan a esos márgenes.. Actualmente se aconseja ampliar el análisis de la disposición sagital del raquis a otras posturas habituales en la vida diaria y

deportiva del individuo (sedestación, flexión del tronco con rodillas extendidas, extensión del tronco, etc.) (Muyor, 2010; Santonja et al., 2000; Santonja, Gómez & Canteras, 2002; Serna et al., 1996), ya que en estas posiciones podrían darse casos de desalineaciones difícilmente detectables en bipedestación. Las posiciones utilizadas para llevar a cabo las mediciones son la bipedestación (Carrasco, Reche, Torres-Sobejano, Romero & Martínez, 2014), bipedestación autocorregida, sedestación relajada, máxima flexión del tronco en sedestación con rodillas flexionadas, test “sit & reach” y test “Toe-touch” (Vaquero-Cristobal., 2017).

En cuanto a la extensibilidad de isquiosurales, las técnicas más utilizadas son los Test de Extensión con Pierna Recta (EPR), tanto activos como pasivos, a través de los cuales se obtienen los valores (en grados) de extensibilidad; mientras que para la flexibilidad de Psoas el método más utilizado es el Test de Thomas adaptado (Harvey, 1998; Esparza-Ros et al., 2014) el cual nos aporta los valores de extensibilidad en grados para esta musculatura. A raíz de este análisis se desarrollan los protocolos llevados a cabo en esta Tesis Doctoral, los cuales son explicados con detalle en el apartado de material y métodos.

Como hemos visto, determinadas prácticas deportivas fomentan descompensaciones músculo-esqueléticas que se pueden objetivar mediante las técnicas de registro previamente mencionadas, al igual que existen posibles alteraciones técnico-tácticas asociadas a la lateralidad y/o preferencia del deportista, otro ámbito sin explorar en el deporte de la vela ligera.

2.11. LATERALIDAD EN EL DEPORTE

Una cuestión ampliamente estudiada en la investigación sobre deporte y rendimiento es la relación entre la lateralidad del deportista y su rendimiento en competición (Bejarano & Naranjo, 2014). En este mismo estudio se afirma que cada vez es más evidente que la lateralidad del sujeto es un factor fundamental para un rendimiento deportivo óptimo, dándose el caso de que en algunos deportes una determinada lateralidad pueda suponer una ventaja decisiva para la competición (Holtzen, 2000), por ejemplo, hemos encontrado trabajos donde se afirma que los zurdos tienen una gran ventaja en los deportes de oposición uno contra uno como el boxeo (Wood & Aggleton, 1989). A esto hay que añadir que el concepto de lateralidad no se refiere sólo a la predominancia de una mano o un pie en determinadas tareas, sino que existen diferentes tipos de lateralidad: podal, ocular, auditiva, manual, de hombro y de cadera (Bejarano & Naranjo, 2014). Además, en el ámbito deportivo, no siempre el lado preferente para acciones cotidianas coincide con el lado preferente para la acción deportiva (Del valle & De la Vega, 2007), por ejemplo, en el ámbito del fútbol es habitual encontrar casos en los que un futbolista de mano dominante diestra tiene la pierna zurda como preferente para el golpeo y la conducción (Bejarano & Naranjo, 2014).

Aunque no hemos hallado estudios sobre lateralidad en vela, está puede influir en el rendimiento, como ocurre en el resto de deportes, a la hora de navegar amurado a Estribor o a Babor, ya que el regatista cambia su posición en el barco, existiendo cambios de posición tanto en el miembro superior como en el miembro inferior, pero hasta la fecha no hemos encontrado estudios que afirmen o contradigan esta afirmación.

Durante el tramo de ceñida (en una regata de vela ligera nos encontramos como mínimo dos tramos de ceñida) el regatista tiene la libertad de navegar tanto amurado a Babor (el viento entra por la amura de Babor) como amurado a Estribor (el viento entra por la amura de Estribor), llevando en cada bordo el timón y la escota con manos alternas, es decir, amurado a babor llevará el timón con la mano derecha y la escota con la mano izquierda y, para el bordo de

Estribor, se producirá el cambio de manos, pasando a llevar el timón con la mano izquierda y la escota con la derecha.

De hecho, estos cambios se producen en todos los niveles; por ejemplo, cuando el regatista pasa de ir navegando amurado a Estribor a hacerlo amurado a Babor, está pasando de ir con el tronco rotado hacia su izquierda, percibiendo tanto el viento como la posición de las balizas, y contrincantes, con su lado izquierdo, a hacerlo con su lado derecho.

Todos estos cambios mencionados en la navegación pueden dar lugar a diferencias en la posición espacial del CDG, en la forma de sacar cuerpo del sujeto (*hiking*) y, por tanto, en el rendimiento de la embarcación (variables de navegación).

Por este motivo, y debido a que en la acción de navegación se utilizan todas las extremidades, tanto el brazo o la pierna dominante como los no dominantes, y en distintas combinaciones en función del bordo, se ha creído oportuno el considerar el estudio de esta variable para esta investigación.

2.12. VARIABLES DE RENDIMIENTO EN VELA LIGERA

En el deporte de la vela, el objetivo principal es llegar a la baliza o punto de destino lo antes posible. Para ello, los regatistas deben obtener el máximo rendimiento de la embarcación, pero no existe una única manera de alcanzar este máximo rendimiento ya que, tanto la técnica como la táctica de navegación hacen que existan variedad de combinaciones con las que tratar de alcanzar nuestro objetivo. Dentro de estas combinaciones hay una multitud de variables que pueden influir en las mismas, como son el bordo de navegación, la escora de la embarcación, el ángulo de la misma con respecto al viento y un largo etc., las cuales harán que nuestro rendimiento sea mayor o menor. Sin embargo, estas variables y su combinación con el rendimiento no han sido estudiadas hasta el momento.

No se han encontrado estudios que hayan relacionado las variables influyentes en el rendimiento en vela ligera con la TSC, todos los estudios mencionados hasta ahora no incluyen lo realmente decisivo para el rendimiento

en vela, esto es ¿cómo navega la embarcación durante el test?, solo hemos encontrado un estudio que usó dichas variables pero, para analizar cómo influye la experiencia de los regatistas en su comportamiento motor (Menayo, Manzanares, Segado & Martínez, 2016). Dichas variables fueron obtenidas a través del uso de un simulador como el que se ha mencionado antes en el apartado de simuladores: el *V-Sail Trainer*®. Estas variables de rendimiento hacen referencia a la velocidad de la embarcación, la escora del barco durante la navegación, la variabilidad del timón y la variabilidad del rumbo con respecto a la dirección del viento.

A priori, todas estas variables se relacionan con el rendimiento. A continuación, se trata de explicar la relación entre las variables teniendo en cuenta que no se ha encontrado ningún trabajo o estudio que haya analizado estas relaciones corroborándolas o refutándolas.

En primer lugar, vamos a hablar de la relación de la variable **velocidad** de la embarcación con el rendimiento. Al contrario de lo que se puede pensar, una mayor velocidad no tiene por qué estar relacionada con un mayor rendimiento, ya que va a depender a la misma vez de la dirección que lleve la embarcación. Esto vendrá marcado por una variable llamada *Velocity Made Good (VMG)*, la cual se explica en el siguiente apartado.

En segundo lugar, debemos hablar de la **escora** de la embarcación. Es aceptado que, a mayor escora de la embarcación, menor es el rendimiento de la misma, ya que al escorar pierde superficie de plano antideriva en el agua y, por lo tanto, aumenta su abatimiento, alejando a la embarcación de su objetivo (baliza). Incluso algún estudio ha analizado esta relación obteniendo una correlación de 0,82 entre la capacidad del sujeto de hacer banda (TSC), es decir, de evitar la escora, y su rendimiento en regata (Blackburn & Hubinger, 1995). Sin embargo, debido a la complejidad que supone medir esta relación en tiempo real, hasta el momento no se han encontrado estudios que hayan demostrado su importancia.

En cuanto a la **variabilidad del timón**, se presupone que un regatista capaz de mantener la dirección del barco más estable realizará menos cantidad de metros finales y, con ello, un mejor rendimiento, sin embargo, cabe la posibilidad

de que un regatista que sea capaz de adaptar mejor su rumbo a los factores externos de la navegación (roles del viento, rivales, olas, rachas de viento, etc.) consiga con ello un mejor rendimiento. Al igual que las variables anteriores, no se han encontrado trabajos que hayan estudiado la relación de estas variables con el rendimiento por lo que no se conoce científicamente la realidad de las mismas.

Por último, la **variabilidad del rumbo**, entendida como los cambios en el rumbo de la embarcación con respecto a la dirección del viento, también podría afectar al rendimiento en la misma línea que la variabilidad del timón, es decir, a menor variabilidad con vientos estables habrá mayor rendimiento, pero tampoco ha sido estudiada hasta el momento, por lo que también se desconoce la relación.

2.13. VELOCITY MADE GOOD (VMG)

A la hora de hablar de rendimiento de la embarcación, debemos hablar de la variable *Velocity Made Good* (VMG), esta variable ha sido utilizada y relacionada con el rendimiento de las embarcaciones en los estudios llevados a cabo en el mundo de la navegación, ya sea el ámbito de la ingeniería naval (Corbetta, Boniolo, Savaresi, Vischi & Malgarise, 2011) o el deportivo (Graf et al., 2007), así como en los trabajos relacionados con el desarrollo de simuladores de navegación (Binns, Bethwaite & Saunders, 2002), los cuales basan el rendimiento en esta variable, apoyados en las polares (velocidad máxima que puede obtener en función del rumbo adoptado) de cada embarcación (Binns et al., 2002; Binns, Hochkirch, De Bord & Burns, 2008; Clark, 2014; Corbetta et al., 2011; Gedeon, 2007; Graf et al., 2007).

En el deporte de la vela, no por ir a mayor velocidad se llega antes, si no que en rumbos tan decisivos como la ceñida, hay que combinar la velocidad con un ángulo óptimo de la embarcación con respecto a la dirección del viento. Por ello se usa el VMG, ésta variable es la que permite medir el rendimiento de una embarcación en tiempo real, tanto en ceñida como en empopada; se trata del componente de velocidad vertical con respecto a la dirección del viento. Actualmente está comenzando a usarse en alta competición de modalidades olímpicas, haciendo uso de un GPS y un equipo de viento durante la navegación,

los regatistas pueden analizar su rendimiento en base a su VMG y compararlo con el de otros competidores.

Un barco de vela ligera no puede navegar nunca en contra del viento; sin embargo, en una regata se pueden encontrar como mínimo dos tramos en los que la baliza (objetivo) se encuentra en barlovento, es decir, justo en la dirección contraria a la del viento. Para alcanzar esta baliza, los regatistas deben ir alternando el rumbo de navegación (yendo amurados a Estribor o amurados a Babor) mediante viradas por avante. Tras cada virada, el regatista trata de colocar la embarcación en un rumbo lo más próximo posible a la baliza, es decir, a la dirección del viento; sin embargo, si se excede acercando la dirección del barco a la del viento (orzando) perderá velocidad, mientras que si se excede alejándola de ésta (arribando) ganará velocidad, pero perderá grados con respecto a la dirección del viento, por lo que se alejará más del objetivo (una baliza colocada desde donde viene el viento). Aquí entra en juego el VMG, con esta variable se puede conocer en cada momento si el rumbo de la embarcación es demasiado próximo o demasiado alejado a la dirección del viento, o si, por el contrario, la embarcación está navegando en un rumbo idóneo. La variable VMG se calcula a través de un gran número de variables, de las cuales la mayoría son dependientes del tipo de embarcación, material, dimensiones, etc., pero que, al ser estables en el tipo de embarcación utilizada en nuestra investigación, se puede simplificar. El VMG se basa en la siguiente fórmula que incorpora velocidad y ángulo de navegación (Binns et al., 2002; Binns et al., 2008; Clark, 2014; Corbetta et al., 2011; Gedeon, 2007; Graf et al., 2007):

$$VMG = V \cdot \cos(\alpha)$$

Donde V es la velocidad resultante del barco (nudos) y $\cos(\alpha)$ es el coseno del ángulo (en radianes) de la embarcación con respecto al viento (ver Figura 8).

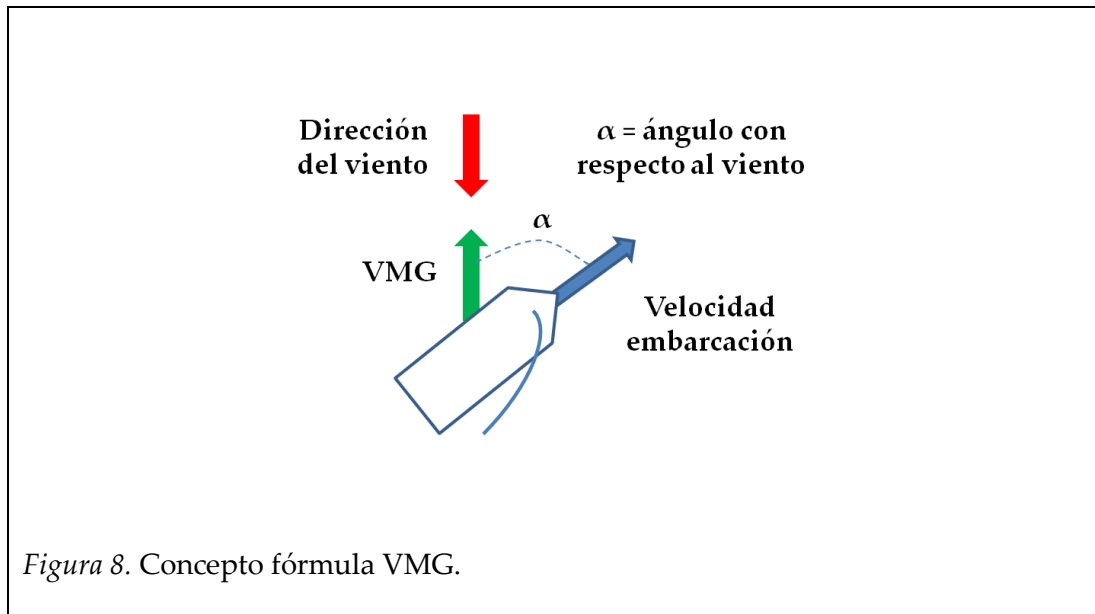
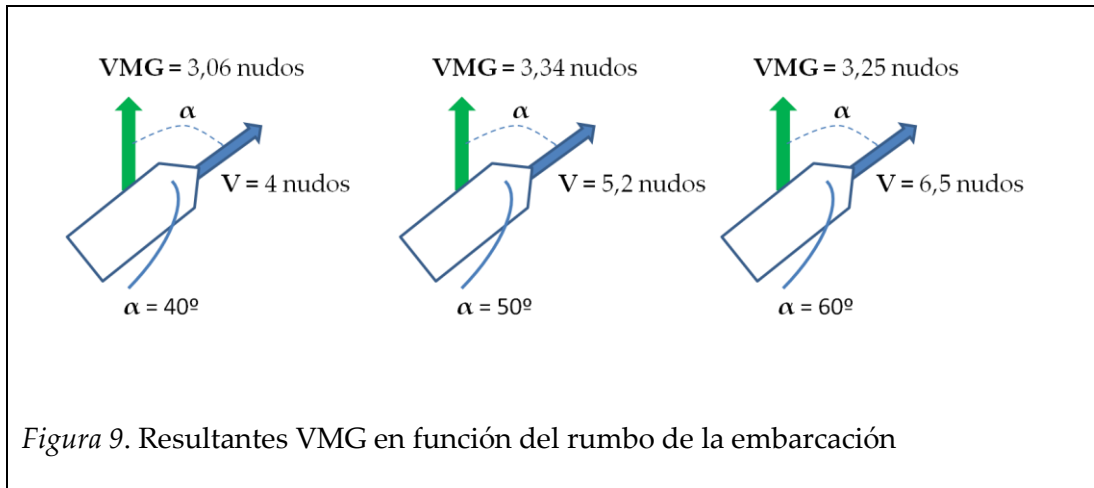
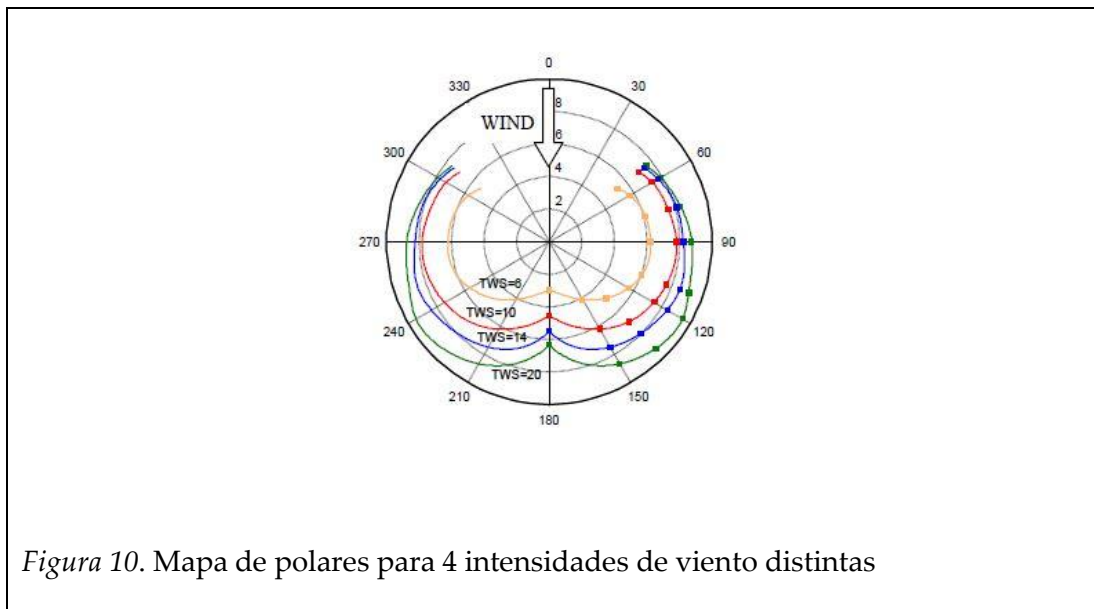


Figura 8. Concepto fórmula VMG.

Por tanto, una embarcación que navegue demasiado orzada, es decir, demasiado cerca de la dirección del viento, así como una embarcación que navegue demasiado alejada de la dirección del viento, obtendrán menor VMG y, por tanto, menor rendimiento, que una embarcación que navegue en un rumbo ni demasiado alejado ni demasiado cerca del viento. En la Figura 9 se representa un ejemplo de cada caso con su respectiva resultante de VMG.



Para el cálculo del VMG de una embarcación, hay que basarse en las polares de la misma. Las polares de una embarcación consisten en los valores máximos de velocidad de dicha embarcación para cada ángulo que la embarcación puede formar con la dirección del viento y para cada valor de intensidad de viento (ver Figura 10).



En este diagrama sobre las polares de una embarcación para 4 intensidades de viento distintas (6, 10, 14 y 20 nudos), las líneas curvas coloridas representan los valores de la velocidad resultante del barco según su posición angular respecto al viento real y la intensidad del mismo. Como se puede observar, a mayor ángulo, la velocidad también es mayor, sin embargo, la embarcación se aleja más del rumbo idóneo que sería el ángulo 45° (en caso de ir en rumbo de ceñida) o el ángulo 180° (en caso de empopada).

Medir la variable VMG en situaciones reales de navegación requiere que la embarcación cuente con la instrumentación necesaria, sin embargo, los innovadores simuladores, de los que hemos hablado en la parte final del apartado de simuladores, permiten calcular la variable VMG en cada instante durante los diferentes test a realizar, por lo que con ésta herramienta se obtendría el VMG de cada regatista y podría ser relacionado con el resto de variables medidas, de esta forma se conocería la relación entre cada variable y el rendimiento de la embarcación.

2.14. MODELOS DE RENDIMIENTO

El análisis biomecánico de cualquier modalidad deportiva tiene como objetivos principales identificar las características de rendimiento de cada deportista y determinar la estrategia conveniente, entre las muchas disponibles, para mejorar la técnica individual y mejorar el rendimiento; analizando para ello las características cinemáticas y cinéticas de los mismos, y evaluando cuan correctos y eficientes son sus movimientos, previniendo del mismo modo posibles lesiones (Dona, Preatoni, Cobelli, Rodano & Harrison, 2009). Para dicho análisis de movimiento, o comportamiento motor, se debe evaluar un número apropiado de repeticiones junto con una evaluación completa de la variabilidad de movimiento, con el fin de evitar que los datos obtenidos sean arbitrarios y, por lo tanto, engañosos (James et al., 2007). Por este motivo, cuando se busca el desarrollo de modelos de rendimiento, para los cuales el análisis de todas las extremidades de los deportistas es vital, se obtienen grandes cantidades de variables distintas, las cuales se repetirán tantas veces como repeticiones de la

prueba, o pruebas, que se hayan elegido para investigar la acción o gesto técnico oportuno.

En casos como este, en el que el número de variables es elevado, muchos autores optan por el uso de una técnica de análisis estadístico que puede ayudar a hacer más fácil la interpretación de dichas variables, agrupándolas y haciendo más fácil el posterior intento de correlación de las mismas con otras variables (Balaguer, Castillo & Tomás, 1996; Cervelló, Escartí & Balagué, 1999; Rodríguez, Izquierdo, Ruiz & Mendoza, 2008).

La técnica estadística comentada es el Análisis de Componentes Principales (ACP), una técnica de síntesis de la información o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante una gran matriz de variables, el objetivo de esta técnica es reducirlas a un número menor perdiendo la menor información posible. Los nuevos componentes principales (o factores) obtenidos son una combinación lineal de las variables originales e independientes entre sí. De los factores obtenidos, no todos tienen el mismo peso o importancia sobre las variables analizadas, sino que cada factor explica un porcentaje de la varianza. Por ejemplo, en el estudio llevado a cabo por Cervelló, Escartí y Balagué (1999), quienes estudiaron la relación existente entre la orientación de la meta y la satisfacción deportiva, realizaron un ACP con las variables de los test que habían realizado y obtuvieron 3 factores que definían la satisfacción de los resultados deportivos, es decir, esos 3 factores aunaban las variables relacionadas con el éxito deportivo. Sin embargo, todos los factores no tenían la misma importancia, sino que había uno que explicaba más la satisfacción que los demás. Este factor fue denominado "Experiencias de Maestría" y explicaba el 30,6% de la varianza, mientras que los otros dos factores "Éxito normativo" y "Aprobación Social" explicaban el 16,5% y el 13,7% respectivamente.

Basándonos en este tipo de estudios, creemos que si realizamos un análisis de este género se podría conocer los factores globales que regulan la técnica de sacar cuerpo y su relación con el rendimiento, así como conocer en qué medida correlacionan cada uno, ya que hasta el momento no se han encontrado trabajos que lo hayan estudiado.

2.15. IDEAS CLAVE

Tras la revisión realizada de los estudios llevados a cabo hasta el momento sobre la vela ligera y, más en concreto, sobre la navegación en clase *Laser*, se observa que existe una técnica determinante en el rendimiento dentro de la vela ligera (De Vito et al., 1993; Sekulic et al., 2006): la técnica de sacar cuerpo (TSC).

Son **muy pocas** las **investigaciones** halladas hasta el momento sobre la TSC y todas ellas han sido llevadas a cabo simulándola de forma muy aislada, alejándose de una medición de la técnica de una forma natural. Sin embargo, en los últimos años se ha comenzado a utilizar **simuladores que permiten controlar las variables de rendimiento** de la embarcación, con los cuales se puede dar un salto cualitativo en el campo de la investigación en vela y, en este caso, en la investigación sobre la TSC.

En cuanto a los regatistas se refiere, muy pocos estudios se han centrado en las características específicas de los regatistas de clase *Laser*. Actualmente **no se encuentra publicado el perfil antropométrico** de este tipo de regatistas, algo que llama la atención tratándose de una clase olímpica. Si se han encontrado estudios sobre las **lesiones más comunes en regatistas**, siendo la curvatura lumbar la más perjudicada generalmente. Sin embargo, **no han sido justificadas las causas** de las mismas. Debido a las características de la TSC, creemos que estas lesiones a nivel lumbar podrían estar relacionadas con el trabajo del **músculo psoas-iliaco**, así como con la **extensibilidad de la musculatura isquiosural**.

Por último, cabe destacar que se desconocen los **factores de rendimiento de la TSC**, es decir, cómo influye la TSC en el rendimiento en navegación. Estos factores pueden ser analizados a través de un estudio cinemático de los regatistas durante la navegación simulada y, en combinación con el uso de un simulador de navegación que permita el registro de las variables de rendimiento de la embarcación, se podrán **relacionar los factores de rendimiento de la TSC con el rendimiento de la embarcación**.

III - OBJETIVOS

III - OBJETIVOS

En este apartado se desarrollan los objetivos y las hipótesis propuestos para esta investigación. Para ello, primero se ha introducido un pequeño resumen del estado actual del tema, a partir del cual se enuncia el problema de investigación que da pie a esta Tesis. Una vez justificado el problema de investigación se muestra el objetivo principal de la misma, así como los objetivos secundarios. Por último, se detallan las hipótesis.

3.1. RESUMEN ESTADO ACTUAL DEL TEMA

Como se ha visto a lo largo del marco teórico, el deporte de la vela ligera no ha sido muy investigado a nivel científico hasta el momento, habiendo encontrado gran variedad de enfoques y disparidad de resultados en todos los campos relacionados con este deporte y el rendimiento, en los que hemos indagado. Variables muy influyentes en el rendimiento de los deportistas, y a las que se les ha dado mucha importancia en la investigación en otros deportes, aún no han sido estudiadas en vela ligera o, en el caso de que se hayan analizado, no se ha hecho siguiendo una metodología consensuada a través de la cual contrastar la información obtenida de las investigaciones; además, dada la dificultad que supone la investigación de este deporte en condiciones reales (acuático y con viento), las investigaciones realizadas han sido llevadas a cabo en situaciones simuladas muy lejanas a la realidad (Chicoy & Encarnación-Martínez, 2015).

En particular, hemos visto cómo una de las técnicas de navegación más determinante del rendimiento en vela ligera (De Vito et al., 1993; Sekulic et al., 2006) como es la TSC, sigue estando por explorar científicamente en muchos ámbitos. En concreto, el campo de la biomecánica deportiva cuenta con muy pocos estudios en la vela ligera en general y sobre la TSC en particular, siendo un ámbito capaz de establecer patrones de rendimiento en otros deportes, por lo que hemos creído relevante el estudio de ésta técnica a nivel biomecánico y de otros factores determinantes del rendimiento en otros deportes.

Uno de los factores con mucha importancia en todos los deportes, y del que no se tiene el conocimiento suficiente en vela ligera, es la antropometría de los deportistas (perfil antropométrico), ya que en función de la modalidad deportiva, los deportistas deberán poseer una características tanto antropométricas como fisiológicas para obtener el máximo rendimiento (Norton & Olds, 2001). En esta misma línea, tratando de conocer las características específicas del deportista y de la modalidad deportiva, debemos hablar de flexibilidad y de curvaturas raquídeas, ya que la práctica repetida de una misma actividad con unos requerimientos físicos elevados puede provocar adaptaciones tanto de flexibilidad como de las curvaturas del raquis (Ferrer, 1998; García, 2015; Pastor, 2000), de lo cual no se tiene conocimiento alguno hasta el momento en vela ligera.

Por otro lado, y en esta misma línea de factores influyentes en el rendimiento, encontramos la importancia de la lateralidad del deportista y su influencia directa sobre el rendimiento del mismo en función de la modalidad deportiva (Holtzen, 2000). De nuevo hemos visto que no ha sido un ámbito estudiado en vela ligera, donde creemos que puede tener una gran influencia en el rendimiento ya que, en función del bordo de navegación, el regatista va a dirigir el timón y la escota con segmentos alternos.

3.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A raíz de este estado del arte en nuestro deporte, se llegó a la conclusión de que existe un gran déficit de investigación en el ámbito de la vela: no existe un modelo de rendimiento; no se conoce la respuesta cinemática y de rendimiento en función del bordo de navegación; no se conoce la relación entre las variables antropométricas y las de rendimiento. Estas carencias nos llevaron a plantear el siguiente problema de investigación para esta Tesis Doctoral.

“¿Cuáles son los factores biomecánicos, antropométricos y de navegación que influyen en el rendimiento de la técnica de sacar cuerpo en vela ligera simulada?

3.3. OBJETIVO PRINCIPAL

A la luz de lo expuesto anteriormente, el objetivo principal del siguiente estudio será:

Describir y analizar la influencia de los factores biomecánicos, antropométricos y de navegación en el rendimiento de la técnica de sacar cuerpo en vela ligera simulada.

3.4. OBJETIVOS SECUNDARIOS E HIPÓTESIS

A continuación, se exponen los objetivos secundarios acompañados de las hipótesis ligadas a cada uno de ellos:

Objetivo 1.

H1: Las características antropométricas de los regatistas condicionarán los valores de VMG obtenidos por los mismos; aquellos regatistas con un IMC mayor y un somatotipo mesomorfo obtendrán mayores valores de VMG.

H2: Existirá una correlación positiva entre los valores de VMG obtenidos por los regatistas y sus curvaturas raquídeas; existiendo más desalineaciones en aquellos los regatistas con mayores valores de VMG.

H3: Existirá una relación de acortamiento (menor flexibilidad) en aquellos regatistas con mayores niveles de VMG.

O1: Describir las características antropométricas, las curvaturas raquídeas y la extensibilidad de los regatistas de la clase *Laser 4.7* de la Región de Murcia y su relación con el VMG.

Objetivo 2.

H4: Existirá una diferencia en la navegación entre bordos, obteniendo mejores resultados para las variables de navegación en función de la banda a la que se navegue; siendo mejores cuando los regatistas naveguen amurados a su banda preferida.

H5: El miembro superior del regatista estará en constante movimiento, corroborando la teoría que califica a la técnica de sacar cuerpo como cuasi-isométrica.

O2: Describir y analizar la respuesta biomecánica y de navegación en la acción de sacar cuerpo en vela ligera simulada según el bordo de navegación.

Objetivo 3.

H6: La técnica de sacar cuerpo puede ser agrupada en torno a factores biomecánicos y de manejo de la embarcación.

O3: Agrupar en dimensiones los factores que regulan la técnica de sacar cuerpo en vela ligera simulada.

Objetivo 4.

H7: Los regatistas con mayor control de la embarcación (menor variabilidad en la escora, menor variabilidad del timón, menor variabilidad del rumbo de la embarcación con respecto al viento, etc.) obtendrán mayores valores de VMG.

H8: Los valores de VMG estarán inversamente relacionados con los niveles de escora de la embarcación, siendo mayores cuanto menor sea la escora de la embarcación.

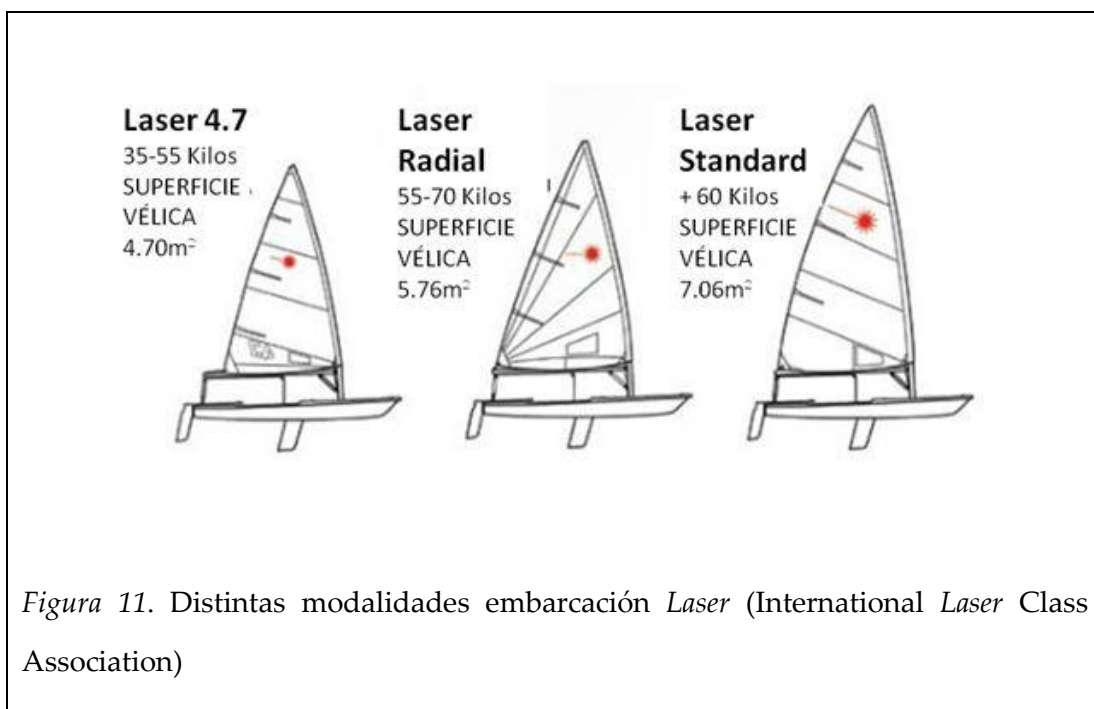
O4: Correlacionar las dimensiones que regulan la técnica de sacar cuerpo con el rendimiento de navegación en vela ligera simulada.

IV - MATERIAL Y MÉTODO

IV - MATERIAL Y MÉTODO

4.1. MUESTRA

A la hora de seleccionar la muestra se tuvieron en cuenta una serie de criterios que se explican a continuación. Se consideró oportuno elegir la clase *Laser* ya que es olímpica y, es una de las embarcaciones más populares, por lo que la muestra accesible es potencialmente mayor que cualquier otra clase. Dentro de este tipo de embarcación se pueden encontrar el *Laser* Estándar (olímpico en categoría masculina), el *Laser* Radial (olímpico en categoría femenina) y el *Laser* 4.7 (ver Figura 11), en todos ellos la embarcación es la misma, cambiando el tamaño de la vela. Para este estudio se eligió el *Laser* 4.7 por ser la modalidad con más muestra accesible.



Una vez seleccionado el tipo de embarcación del que se escogería la muestra, se establecieron unos criterios de inclusión para la misma:

- a) Debían ser regatistas activos, que entrenasen mínimo 2 días a la semana y participasen en las pruebas puntuables para el ranking Regional.
- b) No debían haber sufrido ningún tipo de lesión que afectase a la navegación en los últimos seis meses.
- c) Contasen con un mínimo de experiencia en navegación a vela de 3 años.
- d) Encontrarse en el rango de edad característico de la clase *Laser* 4.7 (entre 14 y 18 años).

En este proyecto tomaron parte un total de 30 regatistas (8 chicas y 22 chicos; N=30) con edades comprendidas entre los 15 y los 18 años. Todos ellos fueron medidos en el Centro de Tecnificación Deportiva (CTD) Infanta Cristina de Los Narejos (Murcia). Las características generales de los sujetos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6.

Características de la muestra

	MEDIA ± DE
Edad (años)	16,5 ± 1,7
Experiencia navegación (años)	5,8 ± 3
Experiencia <i>Laser</i> (años)	1,9 ± 1,2
Peso (Kg)	60,2 ± 8,2
Talla (cm)	171 ± 7,3
Envergadura (cm)	172,6 ± 8,2

DE = Desviación estándar.

Se obtuvo la aprobación de los protocolos previstos en el desarrollo del proyecto por parte del Comité de Ética de la UCAM (registro nº CE071702, y nº6776) (ver Anexo 1) y se respetaron en todo momento los preceptos establecidos en la Declaración de Helsinki respecto a la investigación con seres humanos, así como todos los principios establecidos por la UNESCO. Asimismo, a cada participante se le administró un formulario de consentimiento informado antes de su intervención (ver Anexo 2), en el cual quedaban garantizados sus derechos a abandonar la misma sin causa justificada en el momento que creyeran oportuno. En caso de que los deportistas fueran menores de edad, dicho documento fue firmado por madre, padre o tutor del menor.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Como veremos más adelante hemos dividido las variables de investigación en variables dependientes, independientes y de control.

4.2.1 Variables dependientes

En la presente investigación se definen cuatro grupos de variables dependientes: variables de rendimiento, variables cinemáticas y variables cinéticas.

4.2.1.1 Variables de rendimiento

Cómo se ha comentado en el primer capítulo, las variables de rendimiento son obtenidas a través del software del simulador *V-Sail Trainer*®, las cuales van a mostrar la manera en que cada regatista maneja la embarcación durante los test realizados. A continuación, se definen cada una de ellas:

1- *Velocidad resultante de la embarcación (VE)*: es la velocidad que alcanza la embarcación al realizar los test. Dentro de esta variable se obtendrán otras dos:

✚ **Velocidad resultante media de la embarcación (m/s)** (VM): es la velocidad media obtenida por el regatista en la realización de los test. Para su obtención se calcula el promedio de la velocidad proporcionada a cada instante por el simulador.

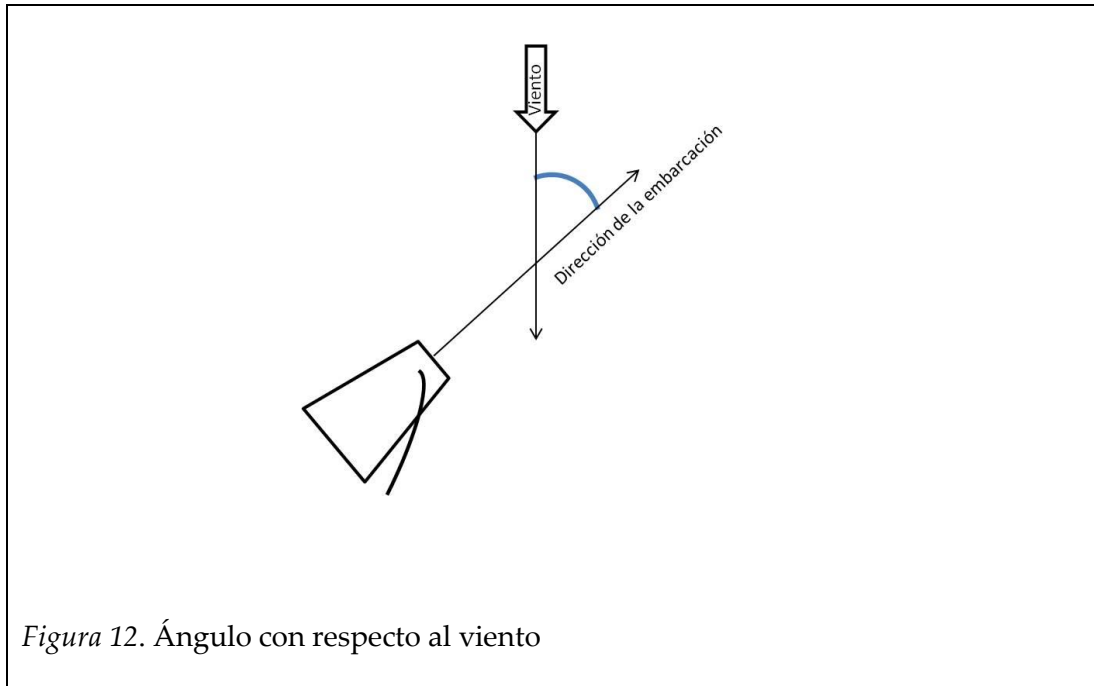
✚ **Coefficiente de variación de la velocidad (%)** (CVV): es la cantidad de variabilidad de la velocidad en relación con la media. Se calcula dividiendo la desviación estándar de la velocidad media entre la velocidad media; y todo ello multiplicado por cien para ser representada en porcentaje.

2- ***Variabilidad del timón (CVT)***: hace referencia a la variabilidad de movimiento de la caña del timón con respecto al eje de crujía de la embarcación (línea de proa a popa que divide el barco en dos). Viene dada por el simulador y representa el coeficiente de variación del desplazamiento del timón.

3- ***Rumbo de navegación***: es la trayectoria descrita por la embarcación dentro del espacio definido para los test en los ejes X e Y (recorridos horizontal y vertical). Dentro de esta variable encontramos otras en relación a la misma:

✚ **Desplazamiento total de la embarcación (m)** (DTE): es la cantidad de metros totales recorridos por la embarcación a la finalización de cada test de navegación.

✚ **Ángulo medio con respecto al viento (°)** (ARV): hace referencia al ángulo descrito por la dirección de la embarcación en relación a la dirección del viento; se calcula el ángulo medio descrito al final de cada test (ver Figura 12).



✚ **Coeficiente de variación del ángulo con respecto al viento (%) (CVARV):** es la variabilidad del ángulo descrito por la dirección de la embarcación con respecto a la dirección del viento; es calculado como el coeficiente de variación de dicho ángulo con respecto a la media.

4- ***Inclinación de la embarcación:*** es la escora de la embarcación, entendida como la inclinación lateral de la misma en su eje longitudinal. Ha sido calculada de dos formas distintas:

✚ **Escora simulador (°) (Esim):** variable proporcionada por el simulador; hace referencia a la escora máxima obtenida durante los test de navegación. Para calcularla, el simulador se basa en los datos proporcionados por el sistema de hidráulicos que escoran la embarcación.

✚ **Escora embarcación (°) (EE):** variable calculada a través del análisis cinemático. Para el cálculo de esta variable, se colocaron dos marcadores

en el simulador (uno a Babor y otro a Estribor). A través del sistema cinemático de seguimiento en 3D, se calculó el ángulo de escora mostrado por dichos marcadores durante los test de navegación (ver Figura 13).

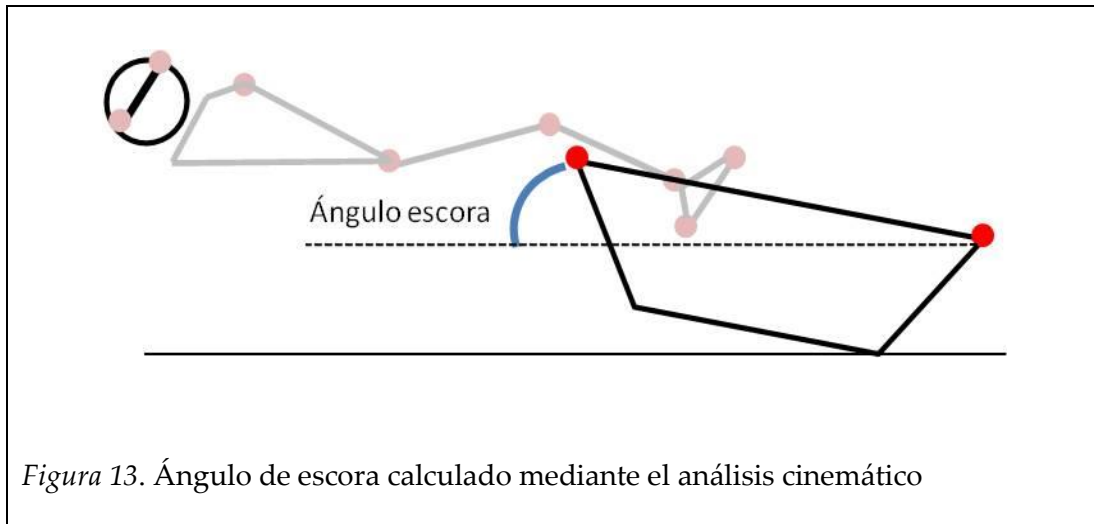


Figura 13. Ángulo de escora calculado mediante el análisis cinemático

5- **VMG**: es el indicador del éxito en condiciones reales de navegación, extraído a partir del análisis de la trayectoria y de la velocidad en relación a la dirección del viento (figura 7). Como ya se ha explicado con detalle en el apartado del marco teórico, esta variable es calculada a través de la fórmula [$VMG = V \cdot \cos(\alpha)$]. Para esta investigación ha sido calculada para cada instante de navegación, gracias a las variables “velocidad” y “dirección de la embarcación” aportadas por el simulador. Además, fue calculado el VMG medio para cada test.

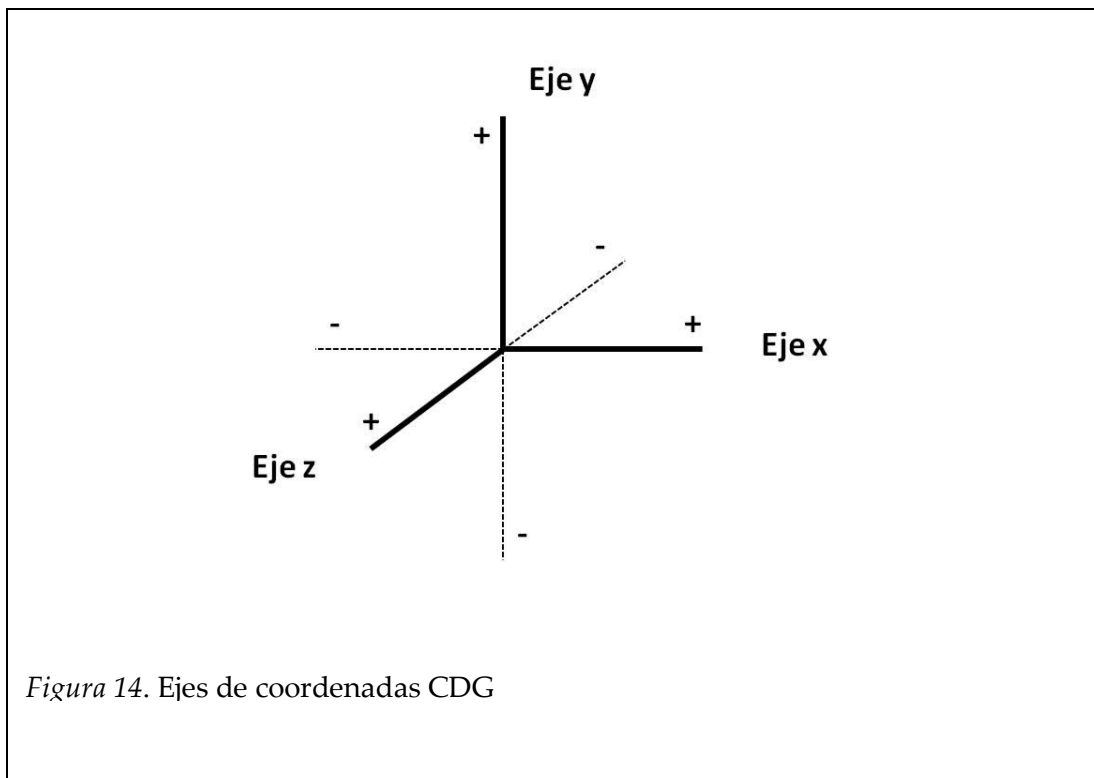
4.2.1.2 Variables cinemáticas

Por su parte, las variables cinemáticas quedan divididas en: Centro de gravedad del sujeto, Cinemática angular miembro superior, Cinemática angular miembro inferior y *Hiking Moment*. Todos los datos necesarios para el cálculo de las variables que a continuación se exponen fueron obtenidos a través de un sistema de análisis cinemático en 3D, el cual va a ser descrito en el apartado de *instrumentos*.

1- **Centro de gravedad del sujeto (CDG)**: es la posición en el espacio del

centro de gravedad, calculado a partir del método segmentario simplificado de Gutiérrez-Dávila (1998). Dentro de este apartado se calcularon las siguientes variables:

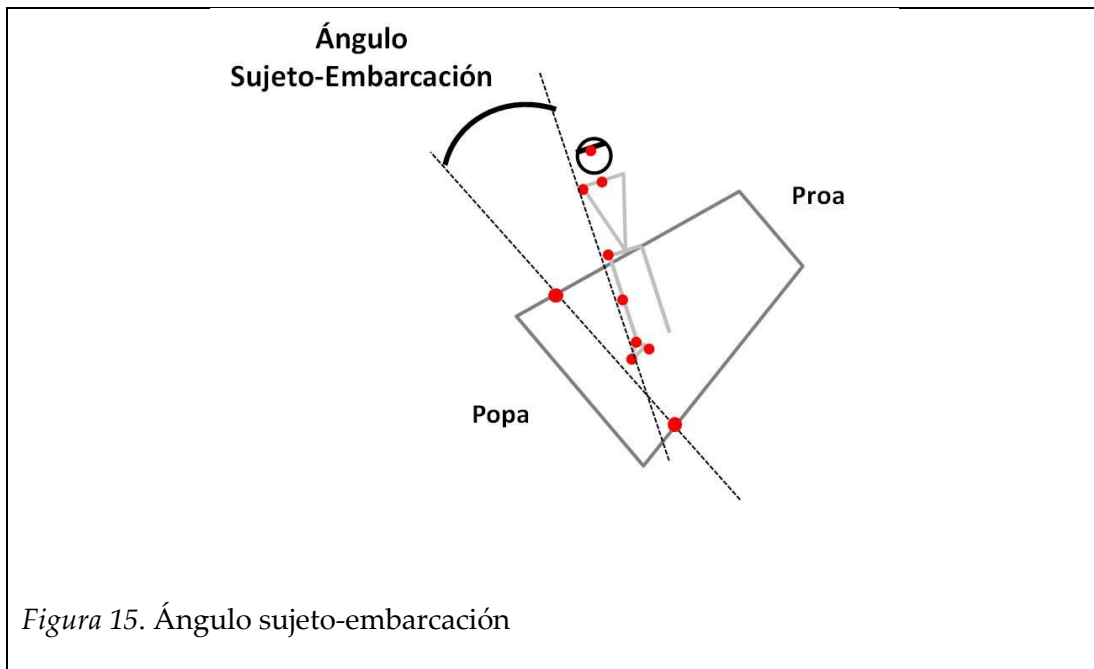
- ✚ **Coefficiente de variación del CDG del sujeto (%)**: se calculó el coeficiente de variación del desplazamiento del CDG del sujeto en los ejes X (medio-lateral), Y (vertical), Z (antero-posterior) (ver Figura 14).



2- ***Cinemática angular miembro superior***: cálculo de la posición en el espacio de los segmentos definidos y de las articulaciones del miembro superior de los regatistas. Dando lugar a las siguientes variables (todas ellas fueron medidas a través del sistema de análisis cinemático):

- ✚ **Extensión del tronco (°)** (ETron): máximo valor del ángulo del tronco en el plano sagital.

- ✚ **Flexión del tronco (°)** (FTron): mínimo valor del ángulo del tronco en el plano sagital.
- ✚ **Rango flexo-extensión del tronco (°)** (RTron): valor máximo menos valor mínimo del ángulo del tronco en el plano sagital.
- ✚ **Coefficiente de variación del tronco (%)** (CVTron): desviación estándar dividido entre la media del ángulo del tronco y multiplicado por 100. Indicador del porcentaje de variación del ángulo del tronco.
- ✚ **Velocidad del tronco (°/s)** (VTron): cambio de posición angular en función del tiempo para el ángulo del tronco.
- ✚ **Extensión del brazo(°)** (EBra): máximo valor del ángulo del brazo en el plano sagital.
- ✚ **Flexión del brazo(°)** (FBra): mínimo valor del ángulo del brazo en el plano sagital.
- ✚ **Rango flexo-extensión del brazo (°)** (RBra): valor máximo menos valor mínimo del ángulo del brazo en el plano sagital.
- ✚ **Coefficiente de variación del brazo (%)** (CVBra): desviación estándar dividido entre la media del ángulo del brazo y multiplicado por 100. Indicador del porcentaje de variación del ángulo del brazo.
- ✚ **Coefficiente de variación rotación del hombro (%)** (CVRHomb): desviación estándar dividido entre la media del ángulo de rotación del hombro y multiplicado por 100. Indicador del porcentaje de variación del ángulo de rotación del hombro.
- ✚ **Ángulo sujeto-embarcación (°)** (AS-Emb): ángulo proyectado en el plano axial del segmento formado por los marcadores de Estribor y Babor de la embarcación y el tronco del regatista (ver Figura 15).



✚ **Coeficiente de variación del ángulo sujeto-embarcación (%)** (CVASEmb): desviación estándar dividido entre la media del ángulo sujeto-embarcación y multiplicado por 100. Indicador del porcentaje de variación del ángulo sujeto-embarcación.

3- ***Cinemática angular miembro inferior***: cálculo de la posición en el espacio de los segmentos definidos y de las articulaciones del miembro inferior de los regatistas. Dando lugar a las siguientes variables (todas ellas fueron medidas a través del sistema de análisis cinemático):

✚ **Extensión de la rodilla (°)** (ERod): máximo valor del ángulo de la rodilla en el plano sagital.

✚ **Rango de flexo-extensión de la rodilla (°)** (RRod): valor máximo menos valor mínimo del ángulo de la rodilla en el plano sagital.

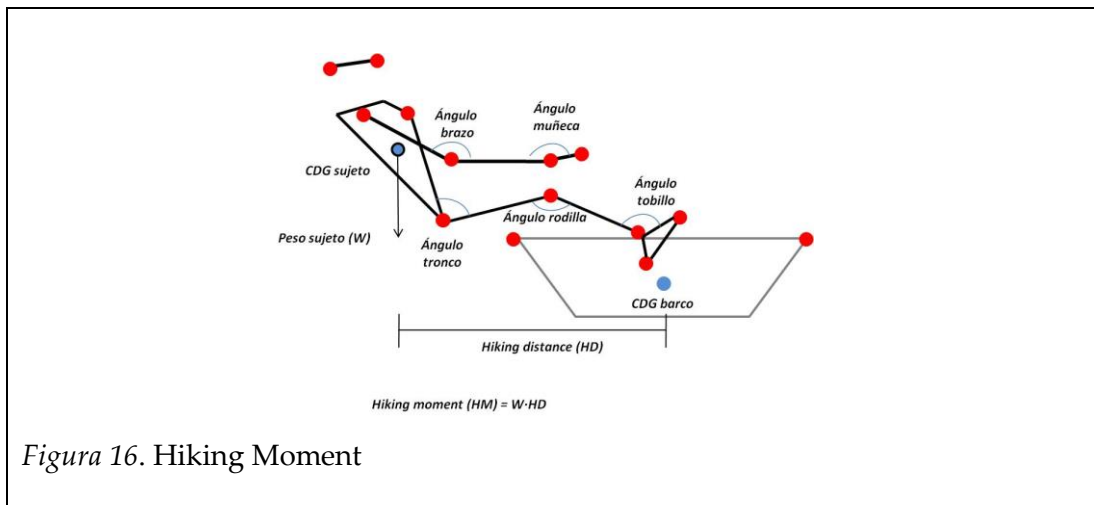
✚ **Coeficiente de variación de la rodilla (%)** (CVRod): desviación estándar dividido entre la media del ángulo de la rodilla y multiplicado por 100.

Indicador del porcentaje de variación del ángulo de la rodilla.

- ✚ **Coeficiente de variación de la rotación de la rodilla (%)** (CVRRod): desviación estándar dividido entre la media del ángulo de rotación de la rodilla y multiplicado por 100. Indicador del porcentaje de variación del ángulo de rotación de la rodilla.
- ✚ **Extensión del tobillo (°)** (ETob): máximo valor del ángulo del tobillo en el plano sagital.
- ✚ **Rango de flexo-extensión del tobillo (°)** (RTob): valor máximo menos valor mínimo del ángulo del tobillo en el plano sagital.
- ✚ **Coeficiente de variación del tobillo (%)** (CVTob): desviación estándar dividido entre la media del ángulo del tobillo y multiplicado por 100. Indicador del porcentaje de variación del tobillo.

4- **Hiking Moment:** el *hiking moment* (o momento de sacar cuerpo) es el producto obtenido de multiplicar el peso del sujeto por la distancia de sacar cuerpo obtenida, siendo ésta la distancia entre el centro de gravedad del sujeto y el centro de gravedad del barco (ver Figura 17). Dentro de este grupo se calcularon las siguientes variables:

- ✚ **Distancia de sacar cuerpo (m)** (DSC): distancia horizontal del CDG de la embarcación al CDG del sujeto.
- ✚ **Esfuerzo sacando cuerpo (N)** (ESC): variable aportada por el simulador que representa la fuerza aplicada por el regatista sobre la banda contrarrestando la fuerza del hidráulico del simulador que genera la escora de la embarcación.
- ✚ **Máximo momento de sacar cuerpo (N·m)** (MMSC): fuerza peso del regatista por la distancia de sacar cuerpo.



4.2.1.3. Variables cinéticas

Por último, el grupo de variables cinéticas cuenta con: fuerza aplicada por los pies en la cincha.

1- **Fuerza aplicada en la cincha (FC)(N)**: es la fuerza aplicada por el sujeto con los pies sobre la cincha. Fue medida a través de célula de carga.

4.2.2. Variables independientes

Para la presente investigación se establece la siguiente variable independiente:

1- **Bordo de navegación**: se trata de la navegación en función del bordo (ver Figura 17), quedando dividida en:

a) Bordo de Babor: en este bordo el regatista navega sentado en la banda de Babor, por la misma por la que recibe el viento, dirigiendo el timón con la mano derecha y la escota con la mano izquierda.

b) Bordo de Estribor: bordo opuesto al de Babor; el regatista navega sentado en la banda de Estribor, misma por la que recibe el viento, dirigiendo el timón con la mano izquierda y la escota con la mano derecha.

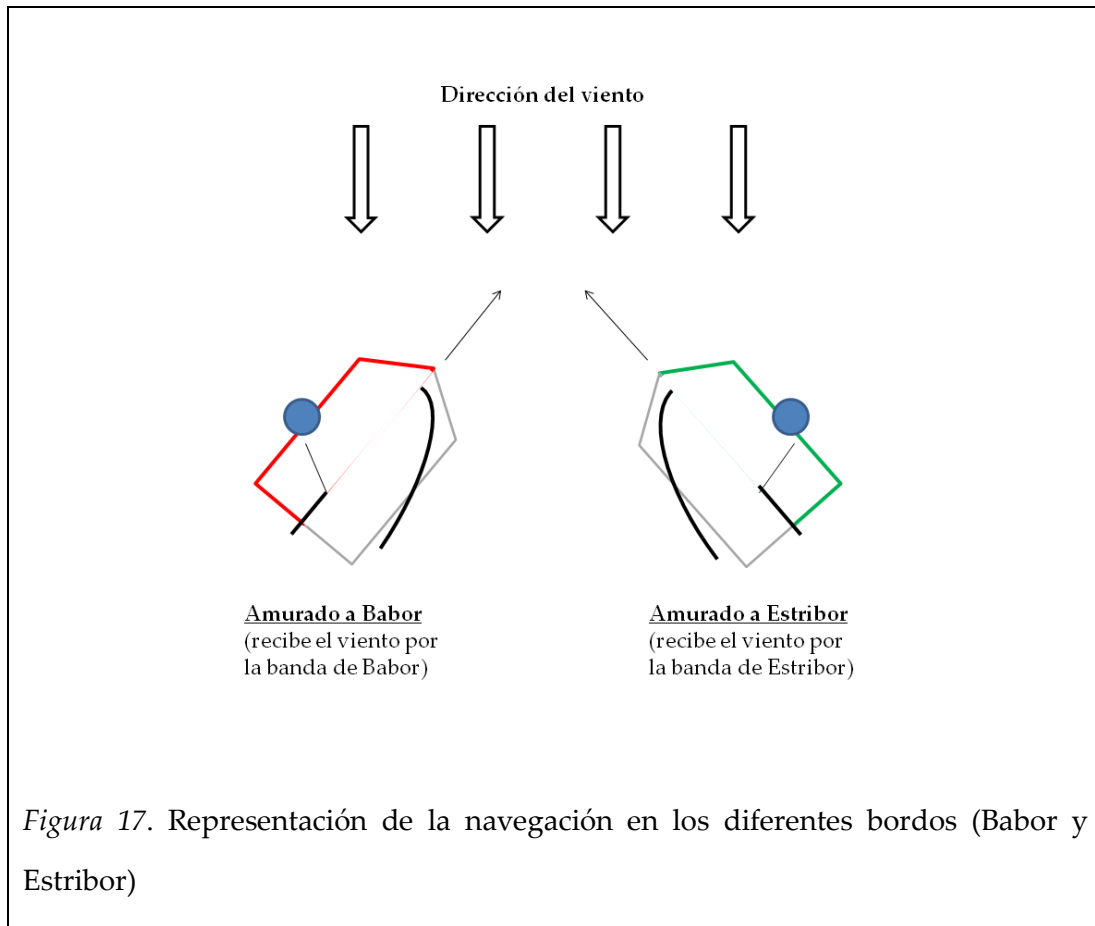


Figura 17. Representación de la navegación en los diferentes bordos (Babor y Estribor)

4.2.2.1. Variables descriptivas de la muestra

▪ Variables corporales de los regatistas

Dentro de las variables de control se incluyen las variables que son propias al sujeto, y que no van a variar en función de los test a realizar, dentro de estas variables encontramos: variables antropométricas, variables de disposición sagital del raquis y variables de extensibilidad.

1- Variables antropométricas:

Somatotipo: son las medidas antropométricas de los sujetos, incluyendo diámetros, perímetros, pliegues, valores Z y variables derivadas medidas

antropométricas de los regatistas. La antropometría llevada a cabo para este estudio se trató de un perfil restringido ISAK. Todas las medidas se llevaron a cabo en la parte derecha del cuerpo y se repitieron 2 veces. Las mediciones llevadas a cabo dentro del perfil restringido son las siguientes:

- ✚ **Medidas base:** peso corporal (kg) y estatura (cm).
- ✚ **Pliegues cutáneos (mm):** tríceps, subescapular, bíceps, cresta iliaca, supraespinal, abdominal, muslo y medial pierna.
- ✚ **Perímetros (cm):** brazo relajado, brazo contraído, cintura, cadera y pierna.
- ✚ **Diámetros (cm):** muslo, Biestiloideo y Fémur.

Los valores Z hacen referencia al modelo *Phantom* (Ross & Wilson, 1974). Este modelo se sustenta en una base de datos obtenida a través de la medición antropométrica de una gran población, tanto de hombres como mujeres. Esta base sirve como valores con los que comparar cualquier medición o estudio antropométrico que se lleve a cabo, obteniendo de dicha comparación los valores Z. Estos valores pueden ser positivos, negativos o cero. En el caso de que sean positivos, las medidas que estamos comparando quedan por encima del modelo *Phantom*; si fueran negativas, las medidas serían menores; mientras que, si fuesen cero, las medidas estarían coincidiendo con el patrón *Phantom*. Estas medidas se relativizan en función de la talla de los sujetos de estudio.

2- Variables de disposición sagital del raquis:

Curvaturas Columna Vertebral: se estudia la posición en grados (°) tanto de la inclinación de la pelvis (INC), de la curvatura torácica (TOR) como de la curvatura lumbar (LUM); estas posiciones fueron medidas en diferentes posiciones adoptadas por los regatistas mediante la realización de diferentes test. Dichos test son descritos con detalle más adelante

En función del test, los valores de normalidad de las curvaturas torácica y lumbar varían, así como la inclinación pélvica, existiendo la siguiente clasificación:

Para la medición en **bipedestación asténica**, se consideran los siguientes rangos de valores (Contreras, Miranda, Ordoñez, Miranda & Díez, 1981; López-Miñarro, 2003; Pastor, 2000; Rodríguez, 1998):

- Curvatura torácica:
 - Rectificación torácica: $< 20^\circ$
 - Normal: entre 20° y 45°
 - Hiper cifosis leve: de 46° a 60°
 - Hiper cifosis moderada: entre 61° y 80°
- Curvatura lumbar:
 - Rectificación lumbar: $> -20^\circ$
 - Normal: entre -20 y -40
 - Hiperlordosis: $< -40^\circ$

Aunque no se han encontrado valores de referencia para la **bipedestación autocorregida**, los valores obtenidos para este test se compararán con los mismos valores de normalidad que los del test de bipedestación asténica, ya que el objetivo es conocer si las posibles rectificaciones desaparecen de un test a otro, siendo rectificaciones posturales, o se mantienen, considerándose estructuradas. El mismo caso sucede con la **máxima extensión en bipedestación**, para el que no se han encontrado valores de referencia pero que al comparar con el test de bipedestación asténica se comprobará la capacidad flexión de la zona lumbar y la capacidad de retroversión pélvica de los sujetos.

Para el test de **sedestación relajada**, los rangos de valores de normalidad son los siguientes (Martínez, 2004):

- Curvatura torácica:
 - Normal: $< 41^\circ$
 - Morfotipo cifótico leve: entre 41° y 53°

- Morfotipo cifótico moderado: $> 53^\circ$
- Curvatura lumbar:
 - Normal: $< 14^\circ$
 - Morfotipo cifótico leve: entre 14° y 21°
 - Morfotipo cifótico moderado: $> 53^\circ$

En cuanto al test **Dedos-suelo**, se presenta el siguiente rango de valores (Martínez, 2004):

- Curvatura torácica:
 - Normal: $< 52^\circ$
 - Morfotipo cifótico leve: entre 52° y 63°
 - Morfotipo cifótico moderado: $> 63^\circ$
- Curvatura lumbar:
 - Normal: $< 22^\circ$
 - Morfotipo cifótico leve: entre 22° y 29°
 - Morfotipo cifótico moderado: $> 29^\circ$
- Inclinación pélvica:
 - Neutra: -90°
 - Retroversión pélvica: $< 90^\circ$
 - Anteversión: $> 90^\circ$

Para el test **Dedos-planta**, se consideran los siguientes rangos de valores:

- Curvatura torácica:
 - Normal: $< 23^\circ$

- Morfotipo cifótico leve: entre 23° y 31°
- Morfotipo cifótico moderado: > 31°
- Curvatura lumbar:
 - Normal: < 22°
 - Morfotipo cifótico leve: entre 67° y 76°
 - Morfotipo cifótico moderado: > 76°
- Inclinación pélvica:
 - Neutra: 0°
 - Retroversión pélvica: < 0° (menores de 0°)
 - Anteversión: > 0° (mayores de 0°)

3- Variables de extensibilidad:

- **Isquiosural:** se midió la extensibilidad de la musculatura isquiosural de ambas piernas a través del **test EPR** (elevación pierna recta), tanto de forma **activa** como **pasiva**.

Para el test **EPR pasivo**, existen rangos de flexibilidad en los que considerar si la zona isquiosural del regatista se encuentra dentro de la normalidad o el acortamiento, conociéndose los siguientes rangos (Ferrer, 1998; Martínez, 2004; Pastor, 2000; Rodríguez, 1998; Santoja & Martínez, 1995):

- Normalidad: $\geq 75^\circ$
- Cortedad grado I: entre 61° y 74°
- Cortedad grado II: $\leq 60^\circ$

Para el test **EPR activo** no se han encontrado valores de referencia; sin embargo, si se han encontrado otros estudios que utilizan la misma clasificación

que para el test EPR pasivo (Vaquero-Cristobal, 2017) por lo que, siguiendo esta línea, se van a considerar los mismos rangos de normalidad para este test.

También se midió la flexibilidad isquiosural durante los test **dedos-suelo** y **dedos-planta**, a la misma vez que se valoraban las curvaturas del raquis. Existen rangos de normalidad para la extensión en estos dos test, lo cuales se presentan a continuación:

Para el test **dedos-suelo** se consideran los siguientes valores de normalidad (Ferrer, 1998):

- Normalidad: ≥ -4 cm
- Cortedad grado I: entre -4 y -11 cm
- Cortedad grado II: ≤ -12 cm

En cuanto al test **dedos-planta**, los rangos de normalidad son los siguientes (Ferrer, 1998):

- Normalidad: ≥ -3 cm
- Cortedad grado I: entre -3 y -9 cm
- Cortedad grado II: ≤ -10 cm

Cuando el deportista no superaba la tangente a la línea de sus pies (0 cm) se consideraban valores negativos. Cuando superaba dicha línea se consideraban valores positivos.

- **Psoas-iliaco:** se midió la extensibilidad del músculo Psoas-iliaco de ambas piernas mediante el Test de Thomas adaptado. Los valores de normalidad son los siguientes (Esparza-Ros, Escobar-Badía, Esparza-Ros & Vaquero-Cristóbal, 2014; Esparza-Ros, Escobar-Badía & Vaquero-Cristóbal, 2015; Harvey, 1998):

- Normalidad: $\geq 0^\circ$
- Cortedad: $< 0^\circ$

4.2.3. Variables de control

Con el objetivo de mantener estables los factores externos a la investigación que pudieran influir en los resultados de las variables dependientes, se controlaron las siguientes variables:

1- *Conocimientos iniciales de manejo del simulador*: se llevó a cabo un test de familiarización con el manejo y la navegación en simulador. Durante este test se controló que la navegación de los regatistas se estabilizaba (ver Figura 18).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SUJETO	BLOQUE	REPETICIÓN	DISTANCIA	VELOCIDAD MEDIA	SD VELOCIDAD	% CV VELOCIDAD	DESVIACIÓN 100%	Promedio desviación
2	1	1	1	130.617299	5.443456012	0.208800359	3.835805025	1.948603524	1.229090044
3	1	1	2	134.035497	5.551635375	0.043220031	0.778509899	0	1.229090044
4	1	1	3	132.0183245	5.455110944	0.101094991	1.853216046	1.738666609	1.229090044
5	1	2	4	141.702155	5.829724897	0.05451913	0.951192622	1.790913369	2.493741671
6	1	2	5	136.6059158	5.598255285	0.100133478	1.788655094	5.690311646	2.493741671
7	1	2	6	145.5890222	5.936034126	0.141012537	2.37553448	0	2.493741671
8	2	1	1	164.0492162	5.590457948	0.067880827	1.214226596	0	2.352827943
9	2	1	2	158.7903287	5.393270086	0.210885333	3.910157088	3.527221997	2.352827943
10	2	1	3	158.3297462	5.393044241	0.108630237	2.014265647	3.531261831	2.352827943
11	2	2	4	164.9951073	5.564930205	0.359255496	6.455705337	10.11006827	6.503004154
12	2	2	5	164.2747439	5.608954666	0.368115681	6.56299975	9.398944195	6.503004154
13	2	2	6	183.5465356	6.190827046	0.079590701	1.285623081	0	6.503004154
14	3	1	1	169.0022038	5.742242025	0.144302905	2.513006316	1.077877972	0.428490583
15	3	1	2	170.8170046	5.804810802	0.178678218	3.078105796	0	0.428490583
16	3	1	3	170.4129955	5.792760376	0.059917104	1.034344604	0.207593778	0.428490583
17	3	2	4	174.4919198	5.929713276	0.129134396	2.177751099	1.867018753	1.410115686
18	3	2	5	182.3288241	6.188789837	0.030357877	0.490530104	0	1.410115686
19	3	2	6	177.8051761	6.042528415	0.181990488	3.011826767	2.363328303	1.410115686
20	4	1	1	123.6728182	4.156261831	0.378146311	9.09823121	24.04182774	9.443404907
21	4	1	2	161.1511642	5.471777042	0.297974212	5.445657046	0	9.443404907
22	4	1	3	154.1452049	5.237126067	0.219931839	4.19947575	4.288386986	9.443404907
23	4	2	4	157.1196754	5.334288096	0.103520933	1.940670073	3.91108776	2.210873532

Figura 18. Variables de control del manejo del simulador

1- *Temperatura*: se registró y acondicionó la temperatura de la sala para garantizar la homogeneidad de la misma durante las mediciones, estableciendo unos valores de temperatura de 22°C.

2- *Práctica externa al programa de aprendizaje*: quedó prohibida la práctica de la vela para todos los participantes en el proyecto durante las 48 horas previas a la realización del test, así como la práctica en el simulador, quedando excluido/a de éste cualquier participante que no respetase esta norma.

3- *Percepción del esfuerzo realizado*: durante la realización de los test de navegación se controló la percepción del esfuerzo realizado mediante una escala de Borg (Borg, 1982), con el fin de constatar que el esfuerzo era máximo y a la vez controlar los descansos para evitar la posible influencia de la fatiga en los test.

4.3. INSTRUMENTAL

Para ésta investigación se usó un sistema de medida integrado por el simulador de navegación a vela *V-Sail Trainer*® (Virtual Sailing, Tasmania, Australia) con el que se llevaron a cabo los test de navegación simulados; el sistema de análisis cinemático 3D mediante cámaras infrarrojas *Optitrack V120:Trio*® (Natural Point Inc., Oregon, USA) con el cual se registró el movimiento de los regatistas; una célula de carga (Interface, Arizona, USA) para la medición de las variables cinéticas; ordenador portátil *Satellite*, L755-1NT (Toshiba, Tokio, Japón) con sistema operativo Windows Vista® con el que se controló el software del simulador; un segundo ordenador portátil *HP 15-ba018ns* (Hewlett Packard, California, USA) para el control del software del sistema cinemático 3D; un tercer ordenador portátil *HP 15-ay146ns* (Hewlett Packard, California, USA) para controlar del software de la célula de carga; y un sistema de reproducción audiovisual compuesto por un proyector *Toshiba EX21* (Toshiba, Tokio, Japón) y por 2 altavoces *Z623* (Logitech, Lausana, Suiza), los cuales se utilizaron para reproducir la imagen y el audio de la navegación simulada.

Para la medición de las variables antropométricas se empleó un Kit Antropométrico Innovare (CESCORF, Brasil) compuesto por un antropómetro, un plicómetro y una cinta antropométrica metálica, así como una báscula BS 70E (Medisan®, Neuss, Alemania) para medir la masa de los regatistas.

En cuanto a las mediciones de las curvaturas de la columna vertebral y de la extensibilidad de los sujetos, se llevaron a cabo mediante el uso del sistema *Spinal Mouse*® (Idiag, Fehralt Dorf, Switzerland) junto con un ordenador portátil (HP, 15-ay146ns), un cajón flexómetro *Flex-Tester*® (Novel inc., USA), un goniómetro SH5205 (CARCI, Sao Paolo, Brasil) y un inclinómetro Digital (ACUMAR, Indiana, USA).

Para la medición de la extensibilidad del músculo psoas iliaco y de la musculatura isquiosural se utilizó el mismo goniómetro e inclinómetro.

Por último, se utilizó una escala de Borg (Borg, 1982) para la medición de la fatiga de los regatistas durante los test de navegación llevados a cabo. El rango de dicha escala es de 0 a 10, siendo 0 la mínima percepción de esfuerzo y 10 la máxima.

A continuación, se aportan más detalles del instrumental empleado.

4.3.1 Instrumental para la simulación de la navegación

Se utilizó un sistema automatizado de medida compuesto por el simulador de vela *VSail-Trainer*® y por un sistema de proyección audiovisual para llevar a cabo el test de navegación. El sistema funciona con energía eléctrica, salvo el sistema hidráulico que controla la escora de la embarcación, el cual funciona a través de un sistema de comprensión de aire.

Se trata de un sistema a través del cual se reproducen situaciones simuladas específicas del deporte de vela ligera, permitiendo el control de la situación simulada a través de un gran número de variables modificables, como son el tipo de embarcación, la intensidad del viento o los rivales, entre muchas otras. Para una mejor comprensión del sistema vamos a explicar por separado el Software y el Hardware del mismo.

4.3.1.1. Software del V-Sail Trainer®

El software del simulador (*VSail*, versión Cv090) permite controlar y ajustar las condiciones de navegación, como son: la intensidad y estabilidad del viento, la localización del campo de regatas, el tipo de campo de regatas y su tamaño, el tiempo de salida, el tipo de embarcación, la posibilidad de introducir rivales previamente diseñados y los ajustes de peso del regatista, para la correcta calibración del sistema de escora. Para esta investigación, se seleccionó un viento estable con intensidad de 16 nudos; no se colocó campo de regatas debido a la naturaleza de los test; se simuló la navegación utilizando la embarcación *Laser 4.7*, sin rivales añadidos. Por último, se mostró el viento real y el viento aparente.

La imagen que presenta el software una vez configurado en las condiciones deseadas para la investigación, representa la acción de regata en 2D, aproximándose a una escena real (ver Figura 19).

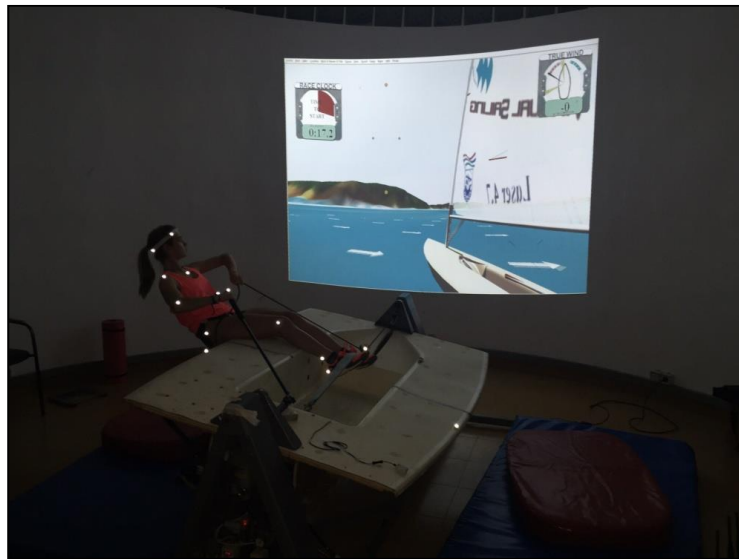


Figura 19. Visión de la simulación por parte del regatista

Con respecto a dicha situación real de navegación hay dos diferencias importantes que son importantes remarcar (ver Figura 20): la primera son las flechas del viento presentes en el mar, las cuales indican al regatista en todo momento la dirección del viento, ya que en la práctica real éste percibe el viento, lo cual no ocurre en la simulación; la segunda diferencia es la brújula o compás que indica a los regatistas la posición del viento real con respecto a la embarcación; en la navegación real esta información viene dada por la grímpola y las lanitas o catavientos de la vela. En la simulación, aunque el regatista cuenta con lanitas, necesita de esta herramienta para comprobar en todo momento que se encuentra en el rango del rumbo deseado, en nuestro caso de ceñida, ya que el test llevado a cabo es en este rumbo y cualquier hándicap que dificultase la realización del mismo podría influir negativamente en la investigación.

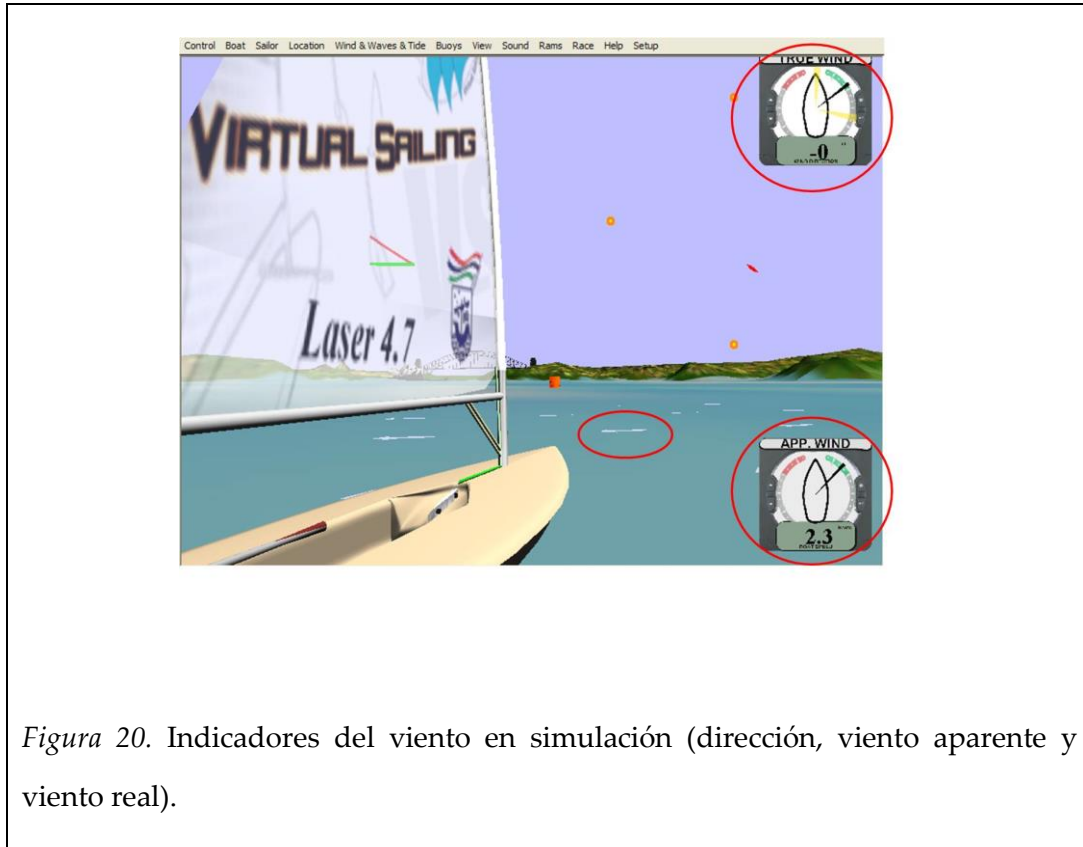


Figura 20. Indicadores del viento en simulación (dirección, viento aparente y viento real).

Una vez finalizado el proceso de toma de datos con cada uno de los regatistas, el software del simulador genera un archivo con extensión *.sbp*. Este archivo se exporta a una hoja de cálculo generada en Microsoft Excel (2016) (ver Figura 21), facilitada por los creadores del simulador, la cual presenta todos los resultados de la navegación del regatista. El archivo generado muestra la velocidad, la posición espacial en los ejes X e Y, el ángulo del timón, el ángulo de la embarcación con respecto a la dirección del viento, el ángulo de la botavara y los grados de escora de la embarcación, junto al recorrido realizado por el regatista. A partir de estos datos se obtuvieron las variables de rendimiento mencionadas en el apartado de variables dependientes.

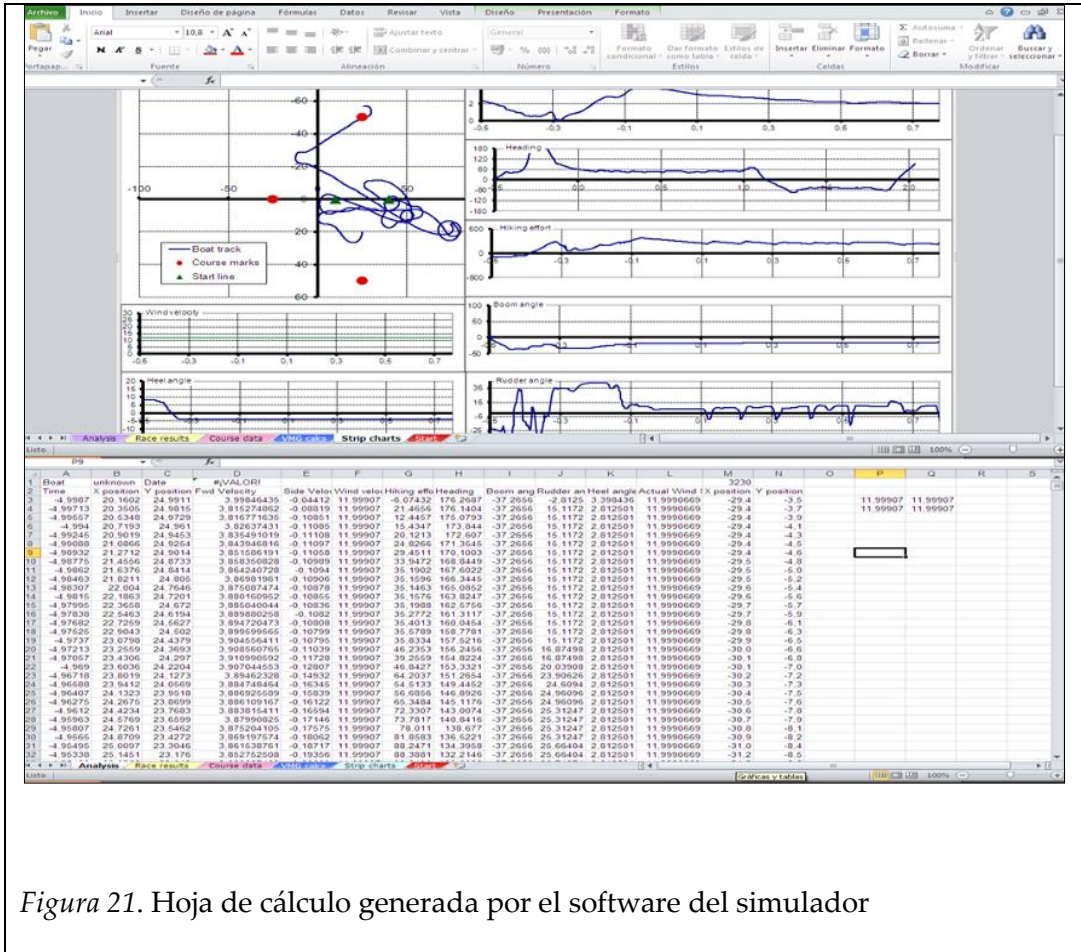


Figura 21. Hoja de cálculo generada por el software del simulador

4.3.1.1. Hardware del V-Sail Trainer®

El hardware del VSail-Trainer® está compuesto por un lado de la embarcación (ver Figura 22) y por otro, de un ordenador que controla el software y las condiciones de navegación, la proyección y el sonido de la situación simulada.

El simulador inicialmente presenta una embarcación con un casco genérico, es decir, no simulaba a ninguna embarcación en concreto, fue adaptado a una embarcación *Laser* específicamente para esta investigación, en el apartado de procedimiento se explica detalladamente el proceso de adaptación. Dicha embarcación está compuesta por un casco de embarcación clase *Laser*, sin vela, y

un sistema electrónico (ver Figura 22). El casco está compuesto por la bañera y las bandas. La bañera es la parte más profunda del casco, donde se encuentra la cincha y donde el regatista pone los pies, mientras que las bandas son los laterales de la embarcación, donde el regatista va sentado durante la navegación. El sistema eléctrico es el encargado de controlar el simulador, a través de éste se conecta el ordenador, desde el cual se controlan los ajustes del software y las condiciones que se desean simular.



Figura 22. Embarcación del simulador adaptada a clase *Laser*

La embarcación del simulador (virtual) se controla a partir del manejo de la embarcación fijada al sistema (real), y ésta se controla del mismo modo que una embarcación de clase *Laser* real. El regatista utiliza el timón para dirigir el rumbo

de la embarcación y la escota como sistema de control de la vela. Del mismo modo, el sujeto debe controlar la escora de la embarcación mediante la Técnica de Sacar Cuerpo, al igual que en una situación real de navegación.

El simulador se conecta al ordenador portátil (Acer Aspire 1690) mediante un conector Universal Serial Bus (USB) y a través de éste se controla el software del simulador y las condiciones de navegación.

4.3.1.2 Proyección de la imagen

La imagen de la simulación se proyectó sobre la pared situada enfrente del simulador (ver Figura 23), a una distancia de 2,25 metros de la posición del regatista. Se siguieron los criterios establecidos por Reina (2004), Reina, Luis, Moreno y Sanz (2004) y Reina, Moreno, Sanz, Damas y Luis, (2006) y utilizados previamente por Manzanares (2012) en lo referente a la distancia y características de la proyección de la imagen del simulador.

La imagen proyectada tuvo unas dimensiones de 2,00 metros de altura y 2,50 metros de anchura. La imagen se situó a 0,60 metros del suelo con el fin de ajustar la altura de la imagen para que estuviera a una altura lo más parecida posible a la visión que tiene el regatista en situación de regata real (ver Figura 23).

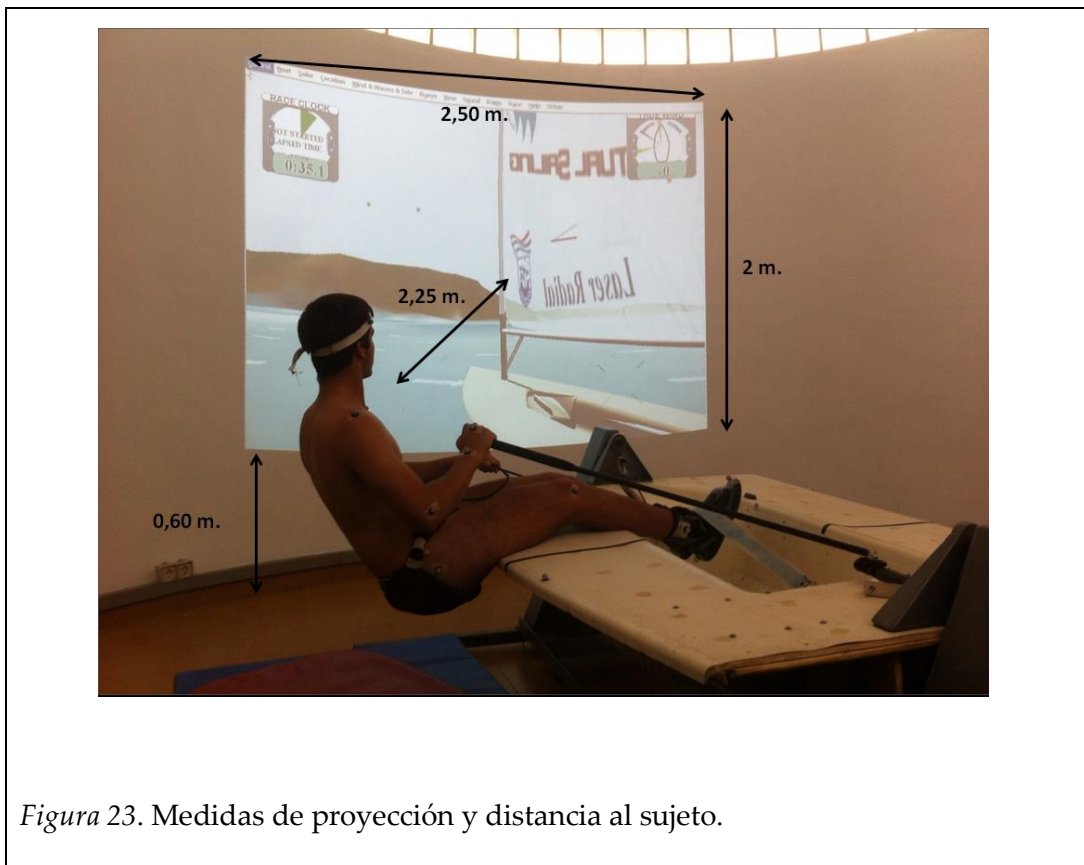


Figura 23. Medidas de proyección y distancia al sujeto.

En cuanto al instrumental utilizado para la reproducción de la imagen, se emplearon los siguientes dispositivos:

- Un proyector multimedia EX21 (Toshiba, Tokio, Japón) con tecnología DLP, resolución XGA de 980.000 píxeles (1.2080 horizontales y 768 verticales y proyección de 2.300 lúmenes y lámpara de 270 W) (ver Figura 24).



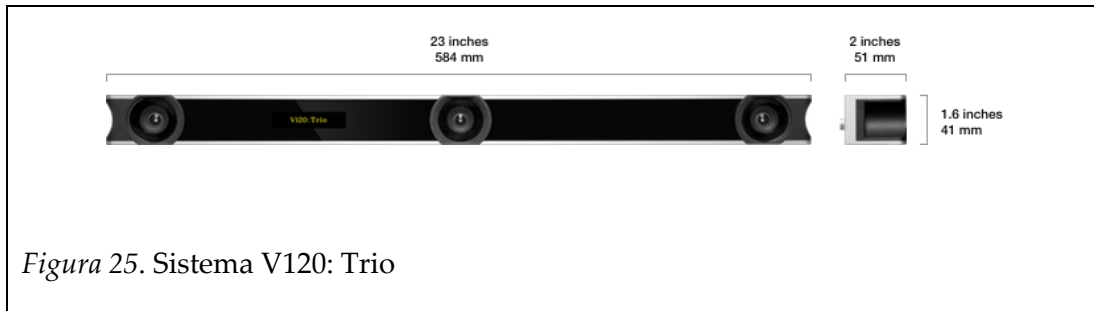
El proyector estaba situado detrás de la embarcación, a una altura de 2,65 metros del suelo, y a una distancia de 5,90 metros de la imagen proyectada.

- Sistema de altavoces Z623 (Logitech, Suiza), compuesto por dos altavoces que reproducían el sonido ambiente de la situación de regata, sonido del mar, y la vela. Los altavoces amplificaban el sonido que proporciona el software del simulador.

4.3.2. Instrumental para el registro cinemático en 3D

Para la medición de los movimientos de los regatistas durante los test de navegación simulada se utilizó el sistema de análisis cinemático en 3D V120: Trio (Natural Point Inc., Oregon, USA) (ver Figura 25). Este sistema cuenta con un hardware basado en 3 cámaras optoeléctricas (basadas en tecnología infrarroja) montadas en paralelo sobre una estructura metálica y a una distancia entre ellas conocida. Este sistema permite, sin necesidad de realizar la calibración del espacio previa, y por su configuración en paralelo de las cámaras, obtener las

coordenadas en 3D de cada uno de los marcadores utilizados. El sistema incorpora un software a través del cual se controlan las mediciones, se revisan los datos obtenidos, permite tratar la señal y facilita la exportación de los mismos para su posterior análisis y extracción de variables.



4.3.2.1 Software del sistema V120: Trio

El software utilizado para el análisis de los datos obtenidos a través de las cámaras es el *Motive:Tracker (Optitrack)*. Este software permite el seguimiento de hasta 2000 marcadores con una precisa reconstrucción en 3D, pudiendo ajustar, entre muchas otras funciones, la iluminación, aplicar filtros de luz, la frecuencia de adquisición (Hz) para conseguir el registro idóneo de los marcadores utilizados en el estudio. También permite ver las grabaciones en tiempo real para comprobar la correcta realización de las mismas.

Una vez registrados, los datos pueden ser tratados, reparando la señal en caso de huecos en la misma, interpolándolos en los casos en los que se haya perdido la señal de algún marcador, suavizar la señal para evitar señales residuales y nombrar marcadores para su posterior exportación en formato “.csv”.

4.3.2.2 Hardware del sistema V120: Trio

El sistema de análisis cinemático 3D V120: Trio cuenta con 3 cámaras optoelectricas montadas en paralelo. Cada una de las cámaras cuenta con un anillo de infrarrojos de 26 LED, una longitud de onda de 850 nm IR, un sistema de iluminación Strobe (o continua) y la posibilidad de ajustar el brillo en función de la iluminación donde se vaya a usar.

El sistema V120: Trio posee un volumen de captura en 3 dimensiones (ver Figura 26) que permite el seguimiento de los movimientos del regatista dentro de dicho espacio, lo que la hacen un sistema ideal para la evaluación de acciones deportivas con escasos movimientos de rotación.

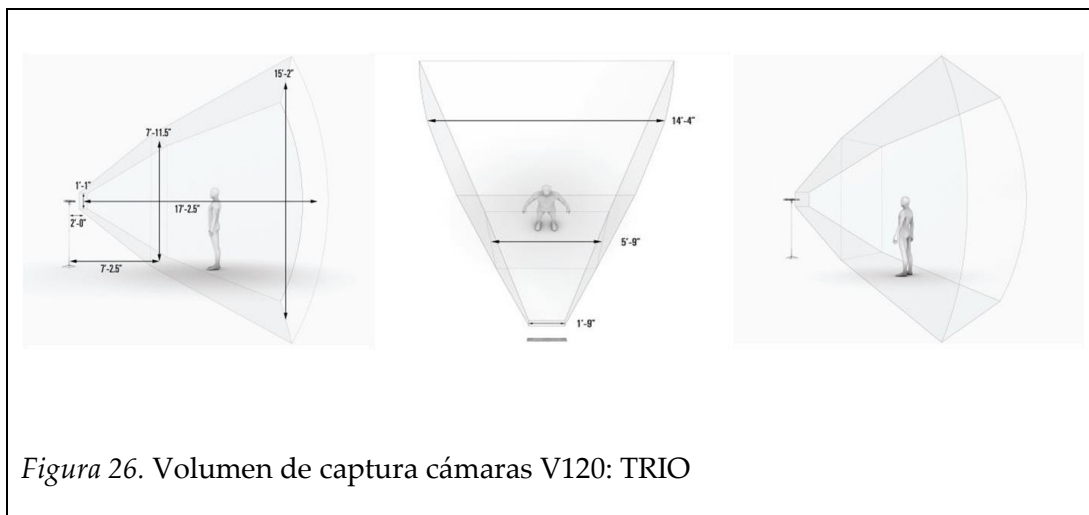


Figura 26. Volumen de captura cámaras V120: TRIO

El sistema cuenta con una caja de conexión/sincronización, a través de la cual es posible conectar las cámaras a la corriente y al ordenador con el que se maneja el software. La conexión entre las cámaras y la caja de conexión se da a través de un cable de transmisión de imagen y sonido. Por su parte, la caja se conecta a la corriente a través de un cable de alimentación (12V - 3A) y al ordenador portátil a través de un conector Universal Serial Bus (USB).

El sistema V120: Trio fue colocado por detrás del simulador de navegación, a una distancia exacta de 1,5 metros, a partir de la cual ninguna extremidad de los regatistas se salía del volumen de captura, al ser este mayor en el punto donde quedó emplazado el simulador (ver Figura 27). Para que los marcadores colocados en el miembro inferior del sujeto no quedaran fuera del volumen de captura se utilizó un trípode Camera Stand (Natural Point Inc., Oregon, USA) con el cual se estableció el sistema V120: TRIO a una altura de 1,7 metros (ver Figura 27). La colocación final de las cámaras se determinó después de realizar varios estudios piloto.

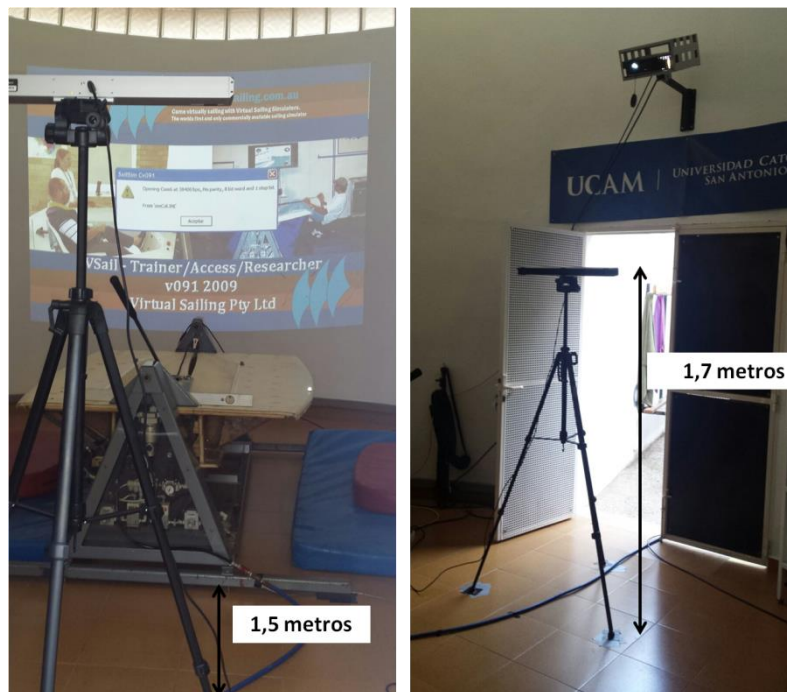


Figura 27. Distancia del sistema en relación al simulador

4.3.3. Instrumental para el registro cinético

Para la medición de la fuerza aplicada por los pies de los regatistas sobre la cincha durante los test de navegación simulada, se utilizó una caja de conexiones Myosystem 2000 (Noraxon, USA) a través de la cual se obtenían los datos proporcionados por la célula de carga SML500 (Interface Scottsdale, Arizona, USA).

El sensor de fuerza es una célula de carga de precisión que permite la medición de la fuerza aplicada por el sujeto en un lugar y momento concreto (ver Figura 28). Cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

- Rango de entrada de fuerza: +/- 500 lb-F (+/- 2224 N)
- Medición de fuerzas tanto de tensión como de presión
- Sensor con sensibilidad para 500lb: 10 mV/lb-F (2,27 mV/N)
- Sensor con sensibilidad para 100lb: 50 mV/lb-F (11,35 mV/N)
- Longitud de cable: 1,5 m
- Medidas del sensor: 4.31cm x 2.46cm x 1.38cm (1.70" x 0.97" x 0.55")
- Peso de la sonda: 141,74 g (0,5 oz)



Figura 28. Célula de carga

La célula fue colocada en el extremo posterior de la cincha, quedando unida por un extremo a ésta y por el otro al puente de la parte más cercana a popa de la bañera de la embarcación, quedando a modo de puente entre ambas partes. Ésta iba conectada a un ordenador portátil (HP, 15-ay146ns) mediante conexión USB, a través del cual se controlaba el software.

El software utilizado myoMOTION MR3.8 (Noraxon, USA) permitió establecer el tiempo de medición deseado, así como guardar y exportar los datos en formato de importación de datos SLK de Microsoft Excel (2016).

4.3.4. Instrumental para la medición de las variables antropométricas

El material utilizado para la medición de las variables antropométricas fue un kit antropométrico Innovare (CESCORF, Brasil) (ver Figura 29) compuesto por:

- *Antropómetro Innovare (CESCORF, Brasil)*: fue el instrumento utilizado para la medición de los diámetros; este antropómetro cuenta con un mecanismo de movimiento tipo Campbell, lo que hace aumentar la precisión en la medición. Escala de medición: 0-170 mm. Precisión +/- 0,5 mm.
- *Plicómetro Innovare (CESCORF, Brasil)*: utilizado para la medición de los pliegues cutáneos. Escala de medición 0-85mm. Precisión +/- 0,1mm.
- *Cinta antropométrica metálica Innovare (CESCORF, Brasil)*: con el que se midieron los perímetros; regla en metal grabado. Escala de medición: 0-200 cm. Caja plástica con mecanismo retráctil. Espacio en blanco antes de la marca 0 (cero). Precisión +/- 0,1 mm.



Figura 29. Kit antropométrico

4.3.5. Instrumental para la medición de las curvaturas raquídeas

El sistema utilizado para la medición de las curvaturas raquídeas de los regatistas fue un Spinal Mouse®, el cual consta de una parte física (hardware) con la que se llevaron a cabo las mediciones de las curvaturas y un software con el que se controló y registró dichas mediciones.

4.3.5.1. Hardware del Spinal Mouse®

El dispositivo Spinal Mouse® (ver Figura 30) consta de dos rodillos incluidos en un soporte móvil que permite la adaptación y registro de la forma y la movilidad de la columna vertebral en los planos sagital y frontal. Las mediciones se realizan de una forma rápida, fácil y segura; el Spinal Mouse® se controla con una mano sobre la superficie de la piel a lo largo de la columna vertebral.



Figura 30. Spinal Mouse®.

Los datos son registrados por tres sensores (uno para cada plano del sistema tridimensional de ejes cartesianos x , y , z) que, a través de una conexión Bluetooth, transmiten los datos relevantes al programa de ordenador.

El *Spinal Mouse*® ha mostrado una elevada validez y fiabilidad en comparación con técnicas radiográficas en la valoración de las curvas raquídeas (Guermazi et al., 2006).

4.3.5.2. Software del Spinal Mouse®

El MediMouse® Software (Idiag, Suiza) recibe los datos medidos por el Spinal Mouse® en tiempo real, clasificándolos por sujetos y mostrando la curva descrita por el mismo durante cada test realizado. Los ángulos de cada articulación vertebral quedan registrados y se muestran en informes con gráficos (ver Figura 31). Estos datos quedan divididos en 3 apartados por cada test realizado: inclinación de la pelvis (INC), curvatura torácica (TOR) y curvatura lumbar (LUM); quedando así definidas las curvaturas raquídeas de cada sujeto en las diferentes posiciones en las que fueron medidas.

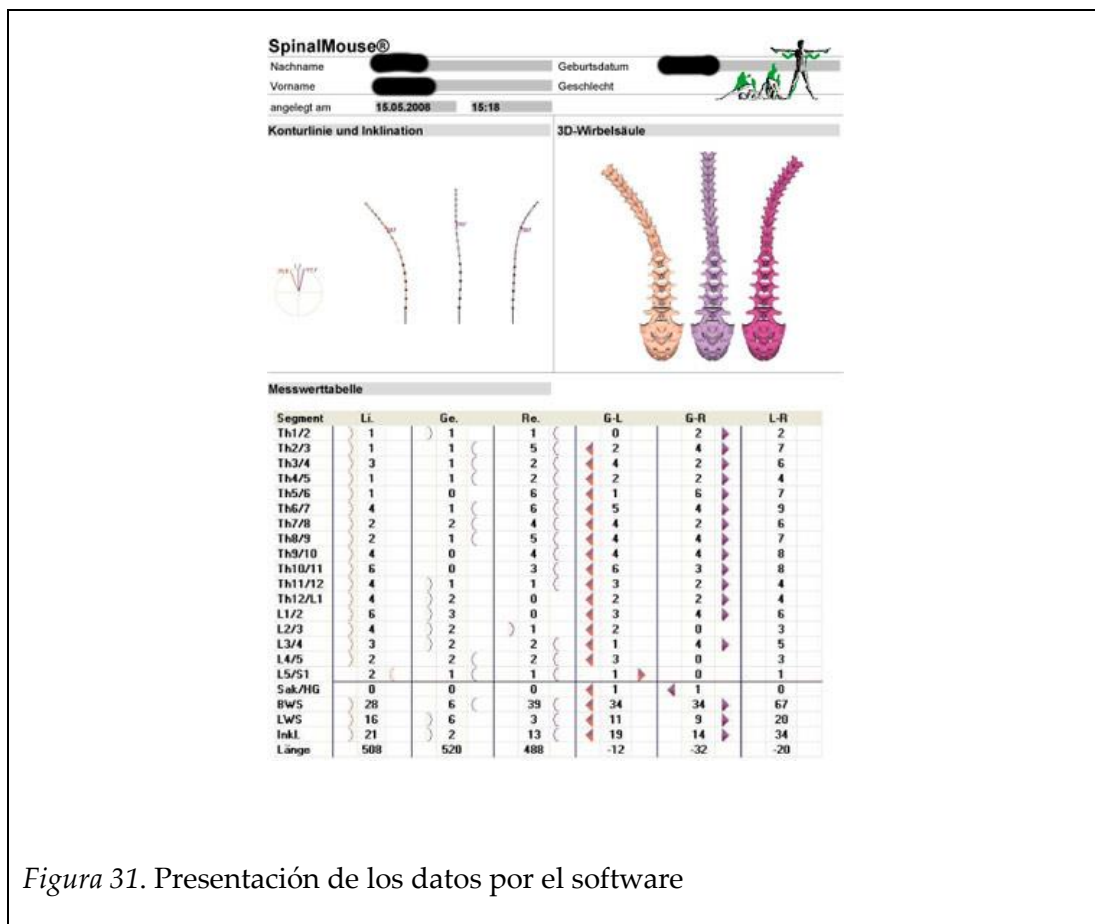


Figura 31. Presentación de los datos por el software

Una vez recogidas todas las mediciones, el software permite la exportación de los datos en formato SLK de Microsoft Excel (2016).

4.3.6. Instrumental para la medición de la extensibilidad de psoas-iliaco e isquiosurales

En cuanto al instrumental utilizado para la medición de la extensibilidad, se utilizaron distintos instrumentos en función de la musculatura a medir.

Para la medición de la musculatura del psoas-iliaco se utilizó un goniómetro de PVC reglado SH 205 (CARCI, Sao Paolo, Brasil) (ver Figura 32), adaptado con una extensión de la regla en ambos sentidos, contando una de las ramas con un nivel que permitía situarla en la horizontal de manera fácil y precisa, con el fin de aumentar la precisión en las mediciones durante el Test de Thomas adaptado para la medición de la extensibilidad de Psoas.

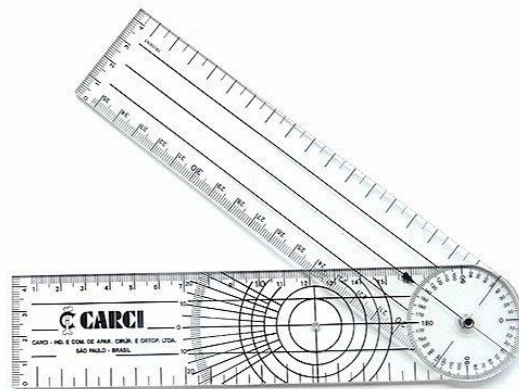


Figura 32. Goniómetro reglado

Por su parte, para la medición de la extensibilidad isquiosural se utilizó un inclinómetro digital (ACUMAR, Indiana, USA) (ver Figura 33), el cual cuenta con un error de medida menor a 1° y una amplitud de 0° a 180° . Éste fue utilizado en

los test de Elevación Pierna Recta (EPR), tanto activo como pasivo, a los que se sometió a los regatistas para medir su extensibilidad de isquiosurales.



También fue utilizado un cajón flexómetro Flex-Tester® (Novel inc., USA) (ver Figura 34) para la realización de algunos de los test de extensibilidad isquiosural, en los que también se midió las curvaturas de la Columna Vertebral mediante *Spinal Mouse*®.



4.3.7. Escala de Borg

Durante la realización de los test de navegación simulada, tanto de los de familiarización como los de medición, se usó una Escala de Borg (Borg, 1982) para controlar la intensidad de esfuerzo percibida por los regatistas durante la realización de estos, con el fin de evitar que una excesiva fatiga pudiera afectar a la correcta realización de los test. Esta herramienta consta de una escala de 0 a 10, donde 0 implicaba la nula percepción de esfuerzo y 10 suponía la percepción de un esfuerzo máximo (ver Anexo 4).

4.4. DISEÑO

Se aplicó un diseño de tipo descriptivo correlacional, con un muestreo intencional.

4.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente apartado se presentan las fases de desarrollo de la investigación. La presente Tesis Doctoral se inició a finales del año 2014. Considerando las características del curso académico, y el calendario de regatas de la clase *Laser* 4.7 en la Región de Murcia y Comunidad Valenciana, la fase de intervención se realizó en los meses de septiembre-octubre de 2015, ya que es la época en la que los regatistas alcanzan su mayor rendimiento (inmediatamente antes del Campeonato de España) y en la que el calendario nos permitió contar con regatistas libres de competición.

Así, las fases de la investigación son las siguientes:

Fase 1.- Selección y caracterización de la muestra y actualización de los protocolos.

Fase 2.- Diseño y definición de los protocolos de medida.

Fase 3.- Puesta a punto del instrumental y estudio piloto.

Fase 4.- Fase de toma de datos.

Fase 5.- Tratamiento estadístico de los datos recogidos.

Fase 6.- Redacción, lectura y defensa Tesis Doctoral.

En la Tabla 7 se muestran las tareas correspondientes a cada una de las fases de la investigación, así como los resultados obtenidos de cada una de ellas.

Tabla 7.

Fases de la investigación

FASES DE LA INVESTIGACIÓN		
FASE 1: Selección y caracterización de la muestra y actualización de los protocolos.		
Tareas	Descripción	Fechas
T1.1. Actualización bibliográfica sobre protocolos de medida.	Actualización de los protocolos de medición de técnica de sacar cuerpo, flexibilidad de isquiosurales y psoas iliaco, y curvaturas columna vertebral mediante Spinal Mouse. Diseño modelo de consentimiento informado.	Octubre 2014
T1.2. Redacción del marco teórico.	Redacción de la base teórica en la que se enmarcó la Tesis Doctoral.	Octubre 2014
T1.3. Seleccionar la muestra de participantes.	Definición de criterios de inclusión y captación de los participantes de estudio entre los clubes de la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana.	Noviembre 2014
T1.4. Caracterización de la muestra.	Comprobación cumplimiento criterios de inclusión.	Diciembre 2014
FASE 2: Diseño y definición de los protocolos de medida.		
Tareas	Descripción	Fechas
T2.1. Diseño del protocolo de medida técnica sacar cuerpo.	Definición concreta del protocolo de registro de datos.	Febrero 2015
T2.2. Diseño procedimiento registro flexibilidad Isquiosurales y Psoas iliaco.	Definición y diseño de protocolo para la valoración de la flexibilidad de Isquiosurales y Psoas iliaco.	Febrero 2015
T2.3. Diseño procedimiento registro curvaturas Columna Vertebral	Definición y diseño de protocolo para la valoración de las curvaturas de la columna vertebral mediante Spinal Mouse.	Marzo 2015
T2.4. Diseño procedimiento registro patrón cinético y cinemático	Definición y diseño de protocolo para la medición de los patrones cinético y cinemático del regatista.	Abril 2015

FASE 3: Puesta a punto del instrumental y estudio piloto.		
Tareas	Descripción	Fechas
T3.1. Adaptación del simulador de navegación a vela	Adaptación del simulador de vela a la clase de embarcación en la que navega la muestra. Instalación de barco <i>Laser 4.7</i> .	Junio 2015
T3.2. Puesta a punto del instrumental.	Se procedió a la puesta a punto del instrumental y a la compra del material fungible.	Septiembre 2015
T3.3. Prueba piloto.	Se procedió a realizar varias pruebas piloto/simulacro con voluntarios externos al proyecto.	Octubre 2015
FASE 4: Fase de toma de datos.		
Tareas	Descripción	Fechas
T4.1. Toma de datos.	Se procedió a llevar a cabo la fase de toma de datos.	Octubre 2015
FASE 5: Tratamiento estadístico de los datos recogidos.		
Tareas	Descripción	Fechas
T5.1. Ordenar datos y preparar para su análisis.	Se procedió a recoger, organizar y preparar los datos registrados para su posterior análisis estadístico.	Diciembre 2015
T5.2. Tratamiento estadístico.	Se procedió a realizar el tratamiento estadístico.	Mayo 2016
FASE 6: Redacción, lectura y defensa Tesis Doctoral.		
Tareas	Descripción	Fechas
T6.1. Redacción documento Tesis Doctoral.	A partir de todos los documentos y datos obtenidos de las fases anteriores se procedió a la elaboración del documento final de Tesis.	Septiembre 2016
T6.2. Lectura y defensa Tesis Doctoral	Se procederá a la lectura y posterior defensa de la Tesis Doctoral.	Febrero 2018

A continuación, se van a definir las 4 primeras fases de la investigación, así como las tareas intrínsecas a cada una de ellas:

Fase 1: Selección y caracterización de la muestra, y actualización de los protocolos

Esta fase se llevó a cabo entre octubre de 2014 y febrero de 2015, con el objetivo de crear un marco teórico sobre el tema a tratar a lo largo de esta Tesis Doctoral, la Técnica de Sacar Cuerpo (TSC), poner al día los protocolos a utilizar a la hora de realizar las mediciones y realizar la selección y caracterización de la muestra. A continuación, se detallan las tareas realizadas durante esta fase.

T.1.1. Actualización bibliográfica sobre los protocolos de medida.

Se llevó a cabo una revisión de la literatura publicada hasta el momento sobre cada uno de los temas que abarca este estudio. Se actualizaron los protocolos para medir tanto la TSC como la extensibilidad en isquiosurales y psoas ilíaco, y las curvaturas de la columna vertebral mediante el uso de Spinal Mouse (Idiag, Suiza). Como resultado de esta tarea se obtuvieron los protocolos actualizados que más adelante serán descritos y los cuales se aplicaron en la fase experimental para la correcta realización de las mediciones. Por último, se redactó el consentimiento informado que fue entregado a posteriori a los participantes en el estudio, previas mediciones, y que cuenta con una hoja informativa sobre los protocolos que fueron aplicados en las mismas (ver Anexo 3).

T.1.2. Redacción del marco teórico

Como base teórica para esta investigación se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre la técnica de sacar cuerpo en vela ligera. Esta labor formó parte del Trabajo Final de Máster y fue publicada posteriormente en la revista "European Journal of Human Movement" en su volumen 34 (2015): junio 2015. Por otro lado, se revisaron trabajos sobre el resto de temas considerados relevantes para el análisis de la técnica de sacar cuerpo para, de este modo, completar el marco teórico en el que se sustenta este trabajo.

T.1.3. Seleccionar la muestra de participantes

A la hora de seleccionar la muestra se tuvieron en cuenta los criterios explicados anteriormente en el apartado donde se describe la muestra.

T.1.4. Caracterización de la muestra

Con el fin de establecer un grupo de muestra homogéneo, se descartaron todos aquellos sujetos que no cumpliesen con los requisitos anteriormente descritos.

Fase 2: Diseño y definición de los protocolos de medida

Llevada a cabo entre febrero y abril de 2015, el objetivo de esta fase fue establecer los protocolos de medida de una manera más exhaustiva. Para ello se contó con la ayuda de expertos en cada uno de los ámbitos abarcados.

T.2.1. Diseño del protocolo de medida de la técnica de sacar cuerpo

Se diseñó un protocolo en consenso con 2 expertos en vela, en el cuál se buscó poder medir todas las variables deseadas en el menor tiempo posible (para facilitar la participación de los sujetos) y sin que afectase la fatiga a los resultados. Se establecieron 2 protocolos distintos en función del bordo, con el objetivo de aleatorizar los resultados finales.

T.2.2. Diseño del procedimiento de registro de extensibilidad de la musculatura isquiosural y psoas-iliaco

Con la ayuda de expertos en estudios sobre extensibilidad de la musculatura del miembro inferior y tras la revisión de la literatura, se eligieron los test más adecuados para medir la flexibilidad de la musculatura isquiosural y del psoas iliaco, estableciendo además el orden adecuado para que no afectara la realización de un test sobre el resultado del siguiente.

T.2.3. Diseño del procedimiento de registro de las curvaturas de la columna vertebral

Debido a la complejidad de la medición de esta variable, primero se realizó un periodo de aprendizaje bajo la supervisión de una experta en el tema de registro de curvaturas de la columna vertebral mediante *Spinal Mouse®*, a continuación, se diseñaron 2 protocolos de medida distintos con el fin de aleatorizar los resultados.

T.2.4. Diseño del procedimiento de registro del patrón cinético y cinemático

Con el apoyo de un experto en biomecánica deportiva y tras la revisión de la literatura se eligieron los instrumentos y protocolos adecuados para la medición y registro de las variables deseadas. Al igual que con el protocolo del apartado anterior, se realizó un periodo de aprendizaje para el uso de los instrumentos de medición, tanto de variables cinemáticas (cámaras de seguimiento en 3D) como de la cinética (célula de carga).

Fase 3: Puesta a punto del instrumental y estudio piloto

Con el fin de preparar todo para el comienzo de las mediciones, se realizaron diversos estudios piloto donde se preparó, probó, arregló, cambió, etc., todo el material que iba a formar parte de las mismas. Esta fase se realizó entre junio y septiembre de 2015.

T.3.1. Adaptación del simulador de navegación a vela

El simulador de vela estaba diseñado como un barco “genérico”, es decir, poseía las características generales de toda embarcación de vela ligera, pero ninguna específica de las distintas modalidades que componen este deporte. Por ello, se decidió modificar el simulador para cambiar ese genérico por la embarcación exacta en la que navega la muestra seleccionada: el *Laser*, de tal forma que el gesto a analizar se acercara lo máximo posible al real. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

Primero. Se adquirió una embarcación *Laser* (Figura 35).



Figura 35. Embarcación Laser

Segundo. Se cortaron proa y popa, dejando la medida exacta de embarcación que posteriormente encajaría en la estructura del simulador (Figura 36).



Figura 36. Corte de la embarcación

Tercero. Se añadieron refuerzos de madera en forma de escuadras tanto debajo de las bandas de la embarcación como en proa y popa, con el fin de añadirle resistencia. Dichos refuerzos fueron atornillados por ambos cantos a la embarcación (a la banda y a la bañera), además se fijaron a la misma con fibra de vidrio y resina de poliéster para añadir fuerza (Figura 37).



Figura 37. Refuerzos aplicados a la embarcación

Cuarto. Una vez reforzada la embarcación, se procedió a colocarla en la estructura del simulador, posicionando los mecanismos para el funcionamiento de la escota y el timón. Además, se fijó el brazo hidráulico, el cual escora la embarcación, siguiendo los criterios de funcionamiento proporcionados por los constructores del sistema. Para la colocación del brazo hidráulico se diseñó una estructura de refuerzo metálica, ya que en este punto es donde más fuerza se ejerce durante el funcionamiento del simulador (Figura 38).



Figura 38. Colocación de los sistemas de timón, escota y brazo hidráulico

Quinto. Por último, se colocó la cincha y el *stick* del timón, adaptando la caña a las dimensiones propias de la embarcación *Laser*. Una vez finalizado este proceso se colocaron colchonetas de seguridad en los laterales del simulador y se dejó listo para realizar la primera prueba piloto (Figura 39).



Figura 39. Simulador adaptado a embarcación *Laser*

T.3.2. Puesta a punto del instrumental

Una vez adaptado el simulador se procedió a la puesta a punto del mismo, limpiando la superficie y bañera, así como lijando asperezas y salientes; se buscó la posición óptima para las cámaras 3D, colocándolas en el lugar estratégico en el que abarcaran el mayor espacio de captura posible; se eligió el lugar apropiado para la célula de carga, fijándola a un puente metálico fijo del espejo de popa por un lado y al cabo de regulación de la cincha por el otro. Se estableció la zona dentro de la sala donde se realizarán las antropometrías, los test de flexibilidad y la medición de curvaturas de la columna vertebral, aprovisionándola del material necesario para las mismas (cajón para test *sit & reach*, camilla, báscula y esterilla).

Por último, se llevó a cabo la compra del material fungible necesario para la preparación e instrumentación de los sujetos (ver Figura 40): cinta americana, cinta de doble cara, cuchillas desechables, tijeras y cinta métrica.



Figura 40. Material fungible

T.3.3. Prueba piloto

Se realizaron 6 pruebas piloto, todas ellas con regatistas ajenos a la muestra, tanto con regatistas de alto nivel como de bajo nivel e incluso con un sujeto no regatista, todos ellos de características morfológicas semejantes a las de los

futuros regatistas. El objetivo de estas pruebas fue comprobar el correcto funcionamiento de todos los instrumentos de medida, así como de los protocolos. Gracias a los test pilotos se fue ajustando el test de navegación en cuanto a descansos y cargas de intensidad, para garantizar que los sujetos tuvieran los descansos adecuados, evitando la influencia de la fatiga en los resultados de los mismos.

Así, se pasó de un protocolo inicial en el que las cargas de intensidad de viento propuestas eran 10, 14, 16 o 18 nudos, a establecer como carga definitiva 16 nudos de navegación, ya que en las primeras pruebas piloto observamos que con 16 nudos el esfuerzo percibido por los sujetos no era demasiado bajo, ni tampoco alto como para que influyera la fatiga; además era una intensidad en la que los sujetos sostenían la técnica de sacar cuerpo de manera continua. Las intensidades de viento 10, 14 y 18 nudos quedaron descartadas por ser unas intensidades tan bajas que los regatistas no llevaban a cabo la técnica de sacar cuerpo, o no la sostenían durante todo el test en el caso de los 18 nudos.

Fase 4: Fase de toma de datos

La fase de toma de datos se llevó a cabo durante los meses de octubre y noviembre de 2015, en el Centro de Tecnificación Deportiva “Infanta Cristina” de Los Narejos (Murcia), y tuvo como objetivo medir a todos los regatistas de la muestra elegida, utilizando los instrumentos de medida preparados para la ocasión mediante los protocolos diseñados para ello.

En la Figura 41 se puede observar el proceso que siguió cada sujeto desde que fue contactado para citarnos con él hasta que terminó el último test.

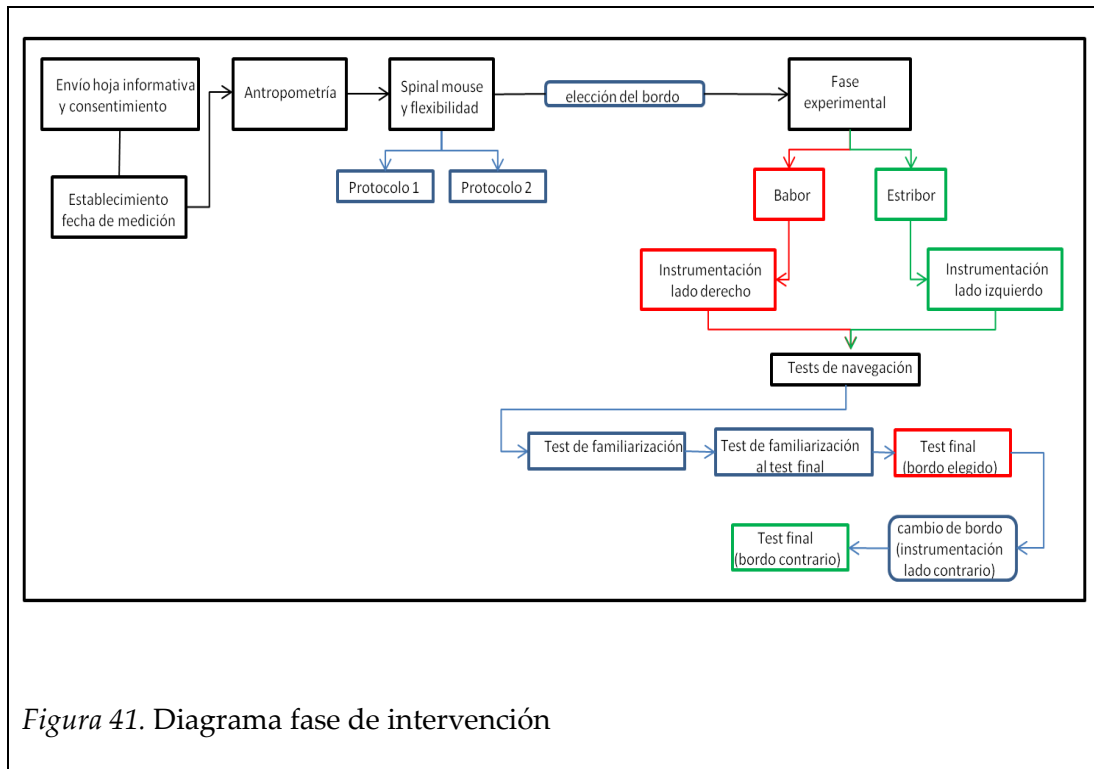


Figura 41. Diagrama fase de intervención

Como se puede apreciar en el diagrama, la fase de intervención consta de varios bloques, en los cuales se llevaron a cabo las distintas mediciones de las variables propuestas para este estudio. A continuación, se van a desarrollar el orden y los protocolos llevados a cabo para la realización de las mismas.

T.4.1. Toma de datos.

Tras firmar el correspondiente consentimiento informado (en caso de menores de edad dicho consentimiento fue firmado por el padre/madre o tutor legal del sujeto) se le realizó a cada sujeto un estudio antropométrico, un análisis de las curvaturas de la Columna Vertebral, test de extensibilidad para musculatura isquiosural y para Psoas Iliaco, así como el test de navegación a vela simulada. A cada sujeto se le realizaron los test en el mismo orden, sin embargo, para las mediciones de la extensibilidad y las curvaturas del raquis, se crearon varios protocolos, con el fin de que los resultados no estuvieran condicionados

por el orden de los test; los sujetos eligieron entre esos test de forma aleatoria. El procedimiento de aleatorización consistió en incluir dentro de sobres opacos los distintos protocolos diseñados (ver Anexo 5) de entre los cuales el sujeto escogía uno el cual marcaría el orden de los test para sus mediciones.

T.4.1.1. Medición antropometría.

Como se ha explicado en el apartado de variables, la antropometría llevada a cabo para este estudio fue acorde con un perfil restringido ISAK (Marfell-Jones, Stewart & de Ridder, 2012). Todas las medidas fueron realizadas por el mismo examinador acreditado y se llevaron a cabo en la parte derecha del cuerpo y se repitieron 2 veces. Las mediciones llevadas a cabo dentro del perfil restringido son las siguientes:

- **Medidas base:** peso corporal y estatura.
- **Pliegues cutáneos:** tríceps, subescapular, bíceps, cresta iliaca, supraespinal, abdominal, muslo y medial pierna.
- **Perímetros:** brazo relajado, brazo contraído, cintura, cadera y pierna.
- **Diámetros:** muslo, Biestiloideo y fémur.

Además, se calcularon los valores Z en base al modelo Phantom (Ross & Wilson, 1974).

T.4.1.2. Medición flexibilidad

La extensibilidad de los regatistas fue valorada a través de los test de elevación de pierna recta (EPR) tanto activo como pasivo (musculatura isquiosural), y test de Thomas adaptado (Psoas-Iliaco).

Para determinar la extensibilidad isquiosural de los deportistas se utilizó el test de elevación de la pierna recta (EPR) activo y pasivo. En cuanto al test activo, con el regatista en decúbito supino sobre una camilla, con un respaldo lumbar (Lumbosant, Albacete, España) colocado bajo el raquis lumbar y la pelvis con el fin de estabilizar la zona lumbar (Santoja, Ferrer & Martínez 1995), se pidió al regatista la elevación de la pierna, manteniendo la rodilla extendida, de forma

lenta y progresiva hasta alcanzar su máximo posible. Para determinar el ángulo de flexión coxofemoral se colocó un inclinómetro Single Digital (ACUMAR, Indiana, USA) en la tuberosidad tibial, colocándolo a cero grados en la posición inicial y estableciendo los grados de flexión coxofemoral al finalizar la misma. En cuanto al test pasivo, en la misma posición que el test anterior, el evaluador procedió a la elevación de la pierna, rodilla extendida, de forma lenta y progresiva hasta que el explorado manifestó dolor o malestar y/o se detectó una retroversión pélvica.

La medición se realizó en ambas piernas en cada test, por separado y de forma aleatoria. Un investigador formado para realizar los test correctamente mantuvo la pierna contralateral extendida y en contacto con la camilla, evitando la rotación lateral, así como la rotación de la pelvis en su eje longitudinal, también se encargó de fijar y controlar la basculación de la pelvis (ver Figura 42).



Figura 42. Test EPR pasivo.

En cuanto a la valoración del rango de movimiento del Psoas-Iliaco, se utilizó el test de Thomas adaptado (ver Figura 43). Para ello, el regatista se situó en decúbito supino colocando el sacro al borde de la camilla, con las extremidades inferiores fuera de la misma y el brazo del lado a medir estirado, colocando la mano por encima de su cabeza. Un ayudante, formado para la correcta realización del test, flexionó la extremidad inferior contralateral fijándola en máxima flexión de cadera y rodilla. El investigador principal fijó el centro de un goniómetro de rama larga en el trocánter mayor de la extremidad que se pretendía medir, situando la rama proximal nivelada respecto a la horizontal. La rama distal del goniómetro se situó paralela al fémur y se registró el ángulo formado por ambas ramas.



Figura 43. Test de Thomas adaptado

T.4.1.3. Medición curvaturas raquídeas

Antes de comenzar las mediciones todos los sujetos se descalzaron y se quitaron la parte de arriba de su vestimenta. En el caso de las chicas se aconsejó que vistieran un top deportivo para minimizar el error del *Spinal Mouse*®

La disposición sagital del raquis torácico y lumbar, así como la inclinación pélvica fueron valoradas, en un orden aleatorio en función del protocolo (ver Anexo 5) elegido por el sujeto al azar previa medición (mediante un sistema basado en sobres para asegurar la aleatorización), en bipedestación, bipedestación autocorregida, extensión máxima en bipedestación, sedestación relajada, test dedos-panta, test dedos-suelo.

Previamente a las mediciones, se identificó mediante palpación y se marcó, con un lápiz dérmico, la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical (C7) y la tercera vértebra sacra (S3). A continuación, la disposición angular del raquis fue valorada mediante un *Spinal Mouse*® (Idiag, Suiza). Entre cada medición hubo 4 minutos de descanso. Cada deportista fue evaluado por el mismo examinador en una misma sesión. La temperatura del laboratorio donde se realizaron las mediciones fue estandarizada a 24° C (Muyor et al., 2012).

Para medir la disposición sagital del raquis y pelvis, una vez que el deportista se encontraba en la posición específica de cada test, se situó el *Spinal Mouse*® en la marca de C7 y se desplazó en sentido cráneo-caudal a lo largo de las apófisis espinosas del raquis, hasta la marca de S3. A continuación, el software del sistema digitalizó el contorno del raquis en el plano sagital, aportando información sobre la angulación global de las curvas raquídeas e inclinación pélvica. Respecto a la curva lumbar, valores negativos indican una curva de concavidad posterior (lordosis), mientras que valores positivos indican concavidad anterior (inversión). Respecto a la pelvis, un valor de 0° correspondió a una posición vertical, de modo que los valores positivos correspondieron a posiciones de anteversión pélvica, y los valores negativos a posiciones de retroversión pélvica.

A continuación, se describen los diferentes test que se llevaron a cabo:

Bipedestación: el sujeto se sitúa de pie, con los pies separados a una distancia equivalente a la anchura de sus caderas, los brazos pegados en sus costados y relajados, con la mirada al frente. Una vez colocado, se procedió a la medición de las curvas, permaneciendo el deportista sin moverse (ver Figura 44).

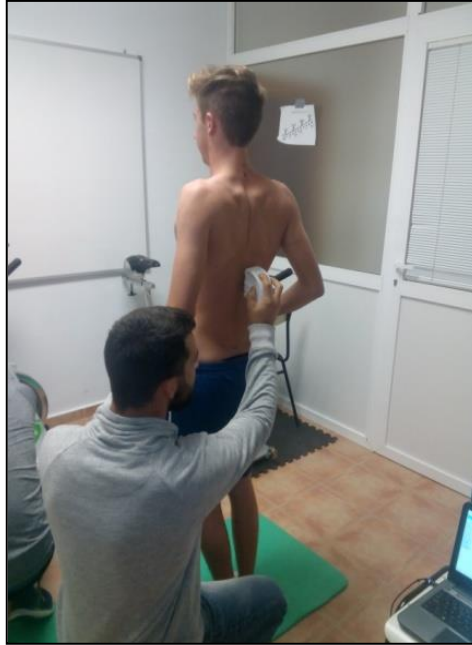


Figura 44. Sujeto en bipedestación

Bipedestación autocorregida: misma posición que en bipedestación salvo que, en este caso, el sujeto debe realizar una anteversión de pelvis máxima y una retroversión escapular, quedando la columna lo más recta posible, en ese momento se procederá a la medición de las curvaturas (ver Figura 45).



Figura 45. Sujeto en bipedestación autocorregida

Dedos-planta: el deportista explorado se situó en sedestación, con las rodillas extendidas y los pies separados a la anchura de sus caderas. Las plantas de los pies se colocaron perpendiculares al suelo, en contacto con el cajón de medición y las puntas de los pies dirigidas hacia arriba. Importante el contacto de los talones con el cajón y el mantenimiento de las rodillas sin flexión. En esta posición el deportista realizó una flexión máxima del tronco con rodillas y codos extendidos. Las palmas de las manos (una sobre otra) se deslizaron sobre el cajón de medición de forma lenta y progresiva, y una vez que se alcanzó la máxima distancia se mantuvo durante 5 segundos, procediéndose a medir la distancia alcanzada, en centímetros, con una regla milimetrada, así como la disposición sagital del raquis y pelvis (ver Figura 46). Si el deportista no superaba la línea de la tangente de las plantas de sus pies (0 cm), se consideraban valores negativos. Cuando la sobrepasaba se consideraban como valores positivos.



Figura 46. Test dedos-planta

Dedos-suelo: el deportista explorado se situó en bipedestación, con las rodillas extendidas y los pies separados a la anchura de sus caderas. En esta posición el deportista realizó una flexión máxima del tronco con rodillas y codos extendidos. Las palmas de las manos, una sobre la otra, se extendieron hasta alcanzar la máxima distancia posible, manteniendo la posición durante 5 segundos (ver Figura 47). Al alcanzar la máxima distancia, se procedió a la medición de la morfología del raquis mediante el *Spinal Mouse®*; así como a medir la distancia alcanzada, en centímetros, con una regla milimetrada. Si el deportista no superaba la línea de la tangente de las plantas de sus pies (0 cm), se consideraban valores negativos. Cuando la sobrepasaba se consideraban valores positivos.



Figura 47. Test Toe-Touch

Sedestación relajada: los sujetos se colocaban en una silla con las rodillas flexionadas en torno a 90 grados, sin apoyo torácico ni lumbar, con las manos apoyadas sobre los muslos (ver Figura 48).



Figura 48. Test sedestación relajada

T.4.1.4. Instrumentación de marcadores y test de navegación simulada

T.4.1.4.1. Instrumentación de marcadores

Antes de realizar los test de navegación, el regatista fue instrumentado con los marcadores que se usaron para registrar la respuesta cinemática durante los test mediante las cámaras V120: Trio. Para ello, el regatista eligió entre dos sobres, de forma aleatoria, los cuales incluían el bordo de Babor o el bordo de Estribor; el bordo elegido fue en el que se llevó a cabo el “test de familiarización al test final” y en el que se empezó el test final. En función del bordo elegido se le instrumentó un lado del cuerpo u otro al participante (Babor – marcadores lado derecho del sujeto, Estribor- marcadores lado izquierdo del sujeto).

Para la instrumentación del regatista se procedió a la preparación de la piel, rasurando las zonas en las que se iban a pegar los marcadores, siendo limpiadas con alcohol y algodón antes de pegar los mismos con cinta de doble cara. Para la colocación de los marcadores se llevó a cabo la detección de los puntos anatómicos donde debían ir pegados, con el fin de que fuera la misma posición

para todos los regatistas. Por último, se le colocaba al regatista una cinta de cabeza en la que iban insertados dos marcadores, los cuales quedaban posicionados en la parte frontal y en la zona posterior, respectivamente. Además, se colocaron otros dos marcadores en la embarcación, uno en el extremo de la banda de Babor y otro en el extremo opuesto, en la banda de Estribor. Todos ellos van a ser explicados en profundidad a continuación.

El modelo cinemático seleccionado fue el propuesto por Gutiérrez-Dávila (1998). Este modelo consiste en un método simplificado para el cálculo del centro de gravedad por segmentos de forma indirecta. Se consideró este modelo por entender la práctica similitud de movimientos entre hemicuerpos de los deportistas durante la navegación a vela ligera, y por las limitaciones tecnológicas de no tener suficiente número de cámaras infrarrojas para poder captar ambos lados del cuerpo del deportista simultáneamente. De esta forma, siempre se analizó el lado más próximo a la popa de la embarcación, permitiendo de este modo analizar los movimientos de la mano que maneja la caña del timón. Este método consiste en dividir el cuerpo en segmentos corporales (ver Anexo 6) y asignarles un peso relativo (Pr) a cada uno (parámetros inerciales extraídos del modelo cinemático de Zartiosky y modificado de Da Leva, en Gutiérrez 1998) respecto al peso total del cuerpo (hombre o mujer) y determinadas las coordenadas (X, Y) de cada uno de los puntos que representan los C.G parciales de cada uno de los segmentos corporales, se calcularon las coordenadas del C.G. del cuerpo de los deportistas de la siguiente manera (Gutierrez, 1998):

$$X = \sum Pr \cdot X_i \quad \text{e} \quad Y = \sum Pr \cdot Y_i$$

El modelo utilizado para la instrumentación del sujeto (ver Figura 49) consta de 14 marcadores, 12 de ellos colocados en el cuerpo del regatista y otros 2 situados en las bandas de la embarcación. A continuación, se explica cada uno de ellos:

Los dos primeros marcadores se colocaban en la cabeza. Para ello se le colocó una cinta al regatista en la que iban insertados dos marcadores, uno de ellos quedaba colocado en la parte central de la frente, y el otro a la misma altura, pero en la parte posterior.

A continuación se colocaban los marcadores del brazo. El primero de ellos se situaba en el hombro, concretamente en el acromion. El segundo se situó en el codo, a la altura del olécranon. En tercer lugar, se colocó un marcador en la muñeca, en la apófisis estiloides del radio. Por último, se colocó un marcador en el reverso de la mano, sobre el metacarpiano grande (capitado).

En cuanto al tronco, se colocó un marcador a la altura del esternón, concretamente en la escotadura yugular.

Para la definición de la extremidad de la pierna se colocó un primer marcador sobre el trocánter mayor del fémur. Un segundo marcador se posicionó en la rodilla, sobre el cóndilo femoral externo.

Por último, se colocaron 3 marcadores en el pie. El primero de ellos se encontraba sobre el maléolo lateral, el segundo de ellos en la punta del escaño o calzado específico para la navegación y el último de ellos en el calcáneo.

Para finalizar se colocaban los marcadores de la embarcación, ambos en los extremos de las bandas, uno a Estribor y otro a Babor, los dos en el punto medio de sus respectivas bandas.

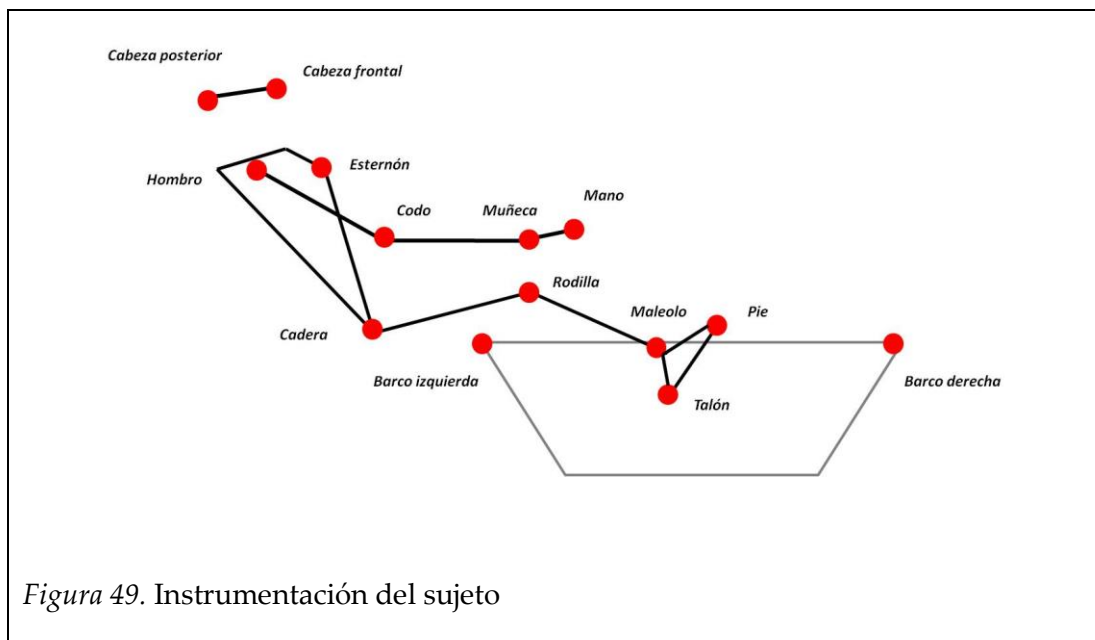


Figura 49. Instrumentación del sujeto

A través de estos marcadores se definían los **segmentos corporales** en los que se basa el método segmentario (Gutierrez, 1998) que hemos utilizado en este estudio:

- **Cabeza:** definido por los marcadores “cabeza frontal” y “cabeza posterior”.
- **Tronco:** definido por los marcadores “esternón” y “cadera”.
- **Brazo:** definido por los marcadores “hombro” y “codo”.
- **Antebrazo:** definido por los marcadores “codo” y “muñeca”.
- **Mano:** definido por los marcadores “muñeca” y “mano”.
- **Muslo:** definido por los marcadores “cadera” y “rodilla”.
- **Pierna:** definido por los marcadores “rodilla” y “maléolo”.
- **Pie:** definido por los marcadores “talón” y “pie”.

Con los segmentos definidos, se procedió a la definición de los **ángulos relativos** a estudiar en el análisis cinemático. A continuación, se explican cada uno de ellos:

- **Ángulo del tronco:** lo forman los segmentos “tronco” y “muslo”, considerándose flexión máxima 0° y extensión máxima 180° .
- **Ángulo del brazo:** formado por los segmentos “brazo” y “antebrazo”, se considera flexión máxima 0° y extensión máxima 180° .
- **Ángulo de rotación del hombro:** considerado como el cambio de posición angular en el eje longitudinal del segmento antebrazo sobre el plano axial o transversal y, considerándose rotación interna máxima -90° y rotación externa máxima 90° .
- **Ángulo de la rodilla:** formado por los segmentos “muslo” y “pierna”, considerándose flexión máxima 0° y extensión máxima 180° .
- **Ángulo del tobillo:** formado por los segmentos “pierna” y “pie”,

considerándose flexión máxima 0º y extensión máxima 180º.

T.4.1.4.2. Test de navegación

Durante el proceso de intervención, se llevaron a cabo 3 grabaciones a 120 Hz, de 10 segundos cada una, por cada sujeto y por cada test de navegación (tanto a Babor como a Estribor). Previamente a la filmación se hacía una toma de calibración de los marcadores colocados en el regatista, el cual se situaba de pie dentro de la bañera de la embarcación para, de esta manera, obtener la posición inicial de los marcadores y usarla de referencia a la hora de hacer los cálculos posteriores para la obtención de variables y la extracción de los datos.

En cuanto a las grabaciones, aunque las tandas eran de 1' 30'', no se registraron los primeros 30'' para evitar el efecto de ajuste a la condición de navegación. Por tanto, la primera grabación coincidía con el comienzo del último minuto del test de navegación final, mismo minuto que se tuvo en cuenta para el análisis de las variables de navegación; la segunda comenzaba en el segundo 20 de este mismo minuto, y la tercera en el segundo 40, es decir, se registró el movimiento de los sujetos, tanto a Babor como a Estribor, en tres momentos: 0''-10'', 20''-30'' y del 40''-50''. Por lo tanto, quedaron registradas 6 grabaciones por cada sujeto, 3 por cada bordo del test final. El hecho de realizar 3 grabaciones por test se debió a que preferimos contar con varias grabaciones por si alguna de ellas mostrase demasiados huecos en la señal, se perdiese algún marcador, o sucediese cualquier otro tipo de problema en alguna de ellas.

Una vez instrumentado, elegido el bordo de navegación y calibrado, se llevaron a cabo tres test de navegación a vela (ver Tabla 8) a lo largo de la sesión de medición:

- familiarización a la navegación en simulador,
- familiarización al test final y,
- test final.

Antes de la realización de los test, se les facilitó las siguientes indicaciones a los regatistas para el correcto uso del simulador y realización de los test: a la hora

de sacar cuerpo debían hacerlo colocando los pies en la cincha a la altura del empeine y debían mantener los pies en posición paralela en todo momento durante la acción de sacar cuerpo; con estas indicaciones se evitó la pérdida de marcadores y, por lo tanto, la invalidez del test.

Tabla 8.

Test de navegación

	Familiarización	Familiarización al test final	Test final
Duración	3'	1' 30''	1' 30''
Repeticiones	1	6	1 Babor 1 Estribor
Intensidad viento	14 nudos	14 nudos	16 nudos
Descanso	1'	1' entre repeticiones	1' entre repeticiones
Bordo	Libre	Estribor o Babor	Mitad Estribor – Mitad Babor
Rumbo	Libre	Ceñida	Ceñida

En la familiarización al test final se controlaron los resultados obtenidos durante el último minuto de cada repetición, dejando los primeros 30 segundos para que el sujeto estabilizase tanto su navegación como su postura, el objetivo de controlar los resultados en estas repeticiones fue comprobar que el efecto aprendizaje se eliminaba. A través de los estudios piloto previos se determinó el número de repeticiones mínimas necesarias para evitar este efecto de aprendizaje en el manejo del simulador, esta es la razón por la que se realizó un total de 6 repeticiones en este test.

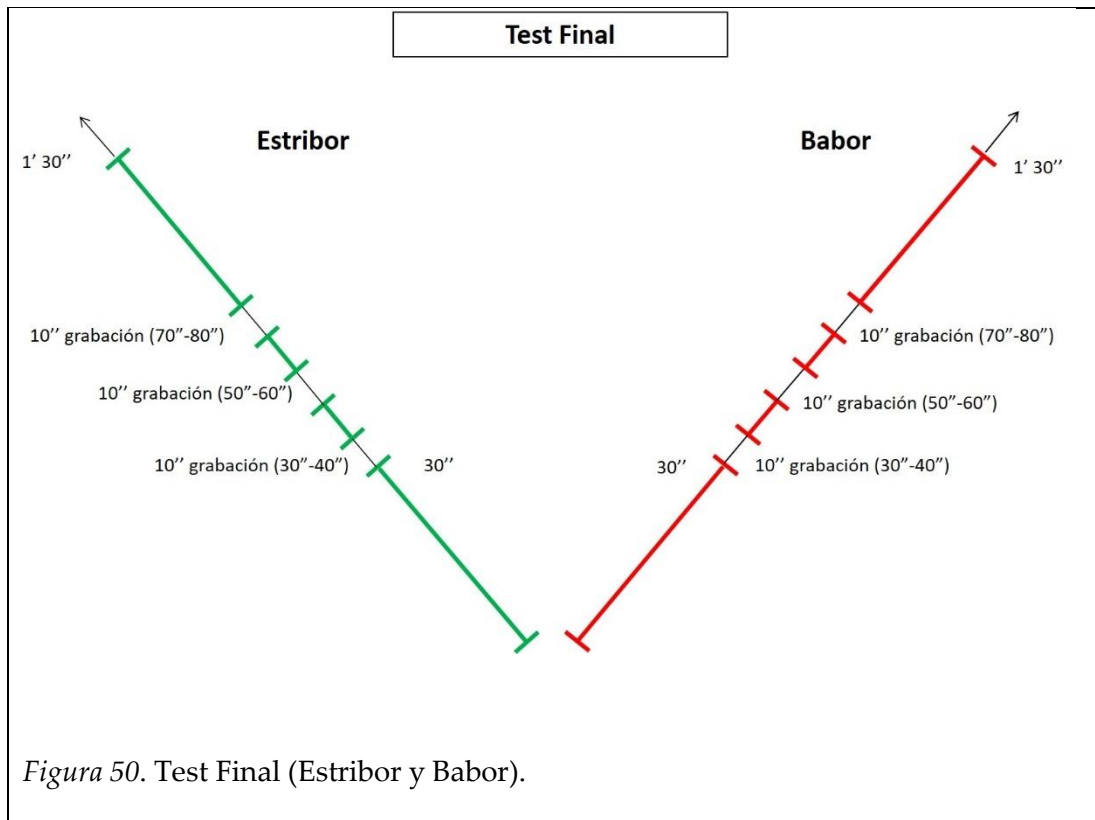
En el test final se controlaron los resultados, midió y grabó durante el último minuto de cada repetición, dejando (al igual que en la familiarización al

test final) los primeros 30 segundos para que el regatista estabilizase su navegación y su postura sacando cuerpo. A continuación, se describen los test que se llevaron a cabo:

Test de familiarización: en este test el regatista tuvo libertad para navegar en el rumbo que creyó oportuno (ceñida, través, largo o popa) durante 3 minutos con una intensidad de viento de 14 nudos, siempre siguiendo un recorrido establecido (Barlovento-Sotavento). El objetivo de este test fue que el sujeto se familiarizase con la navegación en simulador.

Test de familiarización al test final: el sujeto realizó 6 repeticiones de este test, con el fin de estabilizar el rendimiento obtenido en el simulador para todos los participantes en el estudio, eliminando así el efecto de aprendizaje, como hemos comentado anteriormente. Cada repetición consistió en navegar en rumbo de ceñida durante 1' 30'' minutos, amurado a Babor o a Estribor dependiendo del bordo elegido aleatoriamente antes de la instrumentación, tratando de mantener la embarcación a su máxima velocidad. El objetivo de este test fue que el sujeto se familiarizase con el test final, para comprobar que esto sucedía correctamente se analizaron los datos de rendimiento obtenidos por los sujetos en cada test, con el fin de comprobar que la variabilidad de un test a otro se redujo a menos del 5% antes de pasar al test final. Entre este test y el test final se dejó un descanso de 5 minutos, con el fin de evitar el efecto de fatiga.

Test final: el test final consistió en realizar una repetición en Babor y una repetición en Estribor de 1' 30'' minutos cada una (ver Figura 50), con cinco minutos de descanso entre cada una de ellas (tiempo necesario para el cambio de instrumentación de los marcadores de un lado a otro), en las cuales se pidió al sujeto que, además de mantener el barco en rumbo de ceñida usando los indicadores (lanas e indicador de viento aparente), llevase la embarcación al máximo rendimiento posible. En cada uno de los bordos el sujeto realizó el test con una intensidad de viento de 16 nudos. Una vez realizado el test en un bordo se cambió la instrumentación del sujeto al lado contrario y se procedió a la realización del test en el bordo restante con idénticas condiciones a las explicadas anteriormente.



T.4.1.5. Medición de fuerza aplicada en la cincha mediante célula de carga

Durante la realización del test final se midió la fuerza aplicada por el miembro inferior del sujeto en la cincha. La frecuencia de muestreo se estableció a 1500 Hz. El tiempo medido fue de 1 minuto por cada repetición, coincidiendo con el último minuto del test final, sin embargo, a posteriori se analizaron los datos del tiempo correspondiente a las mediciones realizadas cada 10''.

Fase 5: Tratamiento estadístico de los datos recogidos

Una vez finalizada la fase de medición se procedió a la extracción y preparación de los datos exportándolos en primer lugar desde los distintos softwares de los instrumentos de medida, ordenándolos y combinándolos para su posterior análisis a través del programa estadístico IBM SPSS Statistics v.22® para

Windows. A continuación, se van a describir los diferentes procesos de extracción, procesamiento de las señales y preparación de los datos en función del instrumental y el software a través de los cuales fueron obtenidos los mismos (hoja de cálculo antropometría, Spinal Mouse®, simulador de navegación, sistema de seguimiento y célula de carga).

T.5.1. Ordenación y preparación de datos para su análisis.

Los datos obtenidos vendrán de 5 software, o programas, distintos que a continuación se explican.

T.5.1.1. Datos del estudio antropométrico

Los datos de antropometría fueron registrados en una hoja de cálculo Microsoft Excel (2016) en el mismo momento de la medición de los sujetos (ver Figura 51). Para ello el investigador principal realizaba las mediciones y un ayudante compilaba los datos.

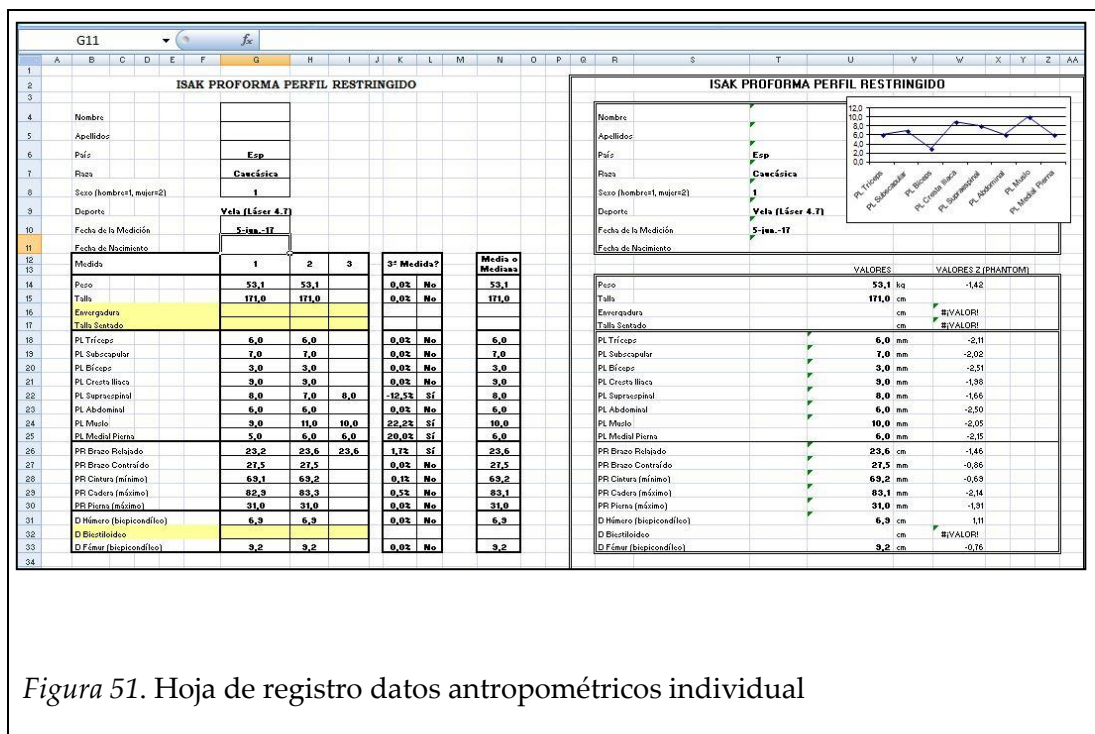


Figura 51. Hoja de registro datos antropométricos individual

Dicha hoja de cálculo fue proporcionada por el experto en antropometría que formó tanto al investigador principal como al ayudante en la medición y registro de los datos. Éste instrumento contaba con una hoja por cada sujeto, en la cual se registró los datos de los mismos (nombre, edad, raza, sexo, fecha de valoración y fecha de nacimiento), las mediciones de peso, talla y envergadura; así como, las mediciones de pliegues, perímetros y diámetros, para las cuales se registraban las primeras dos medidas repetidas y la propia hoja de registro solicitaba una tercera en caso de que la diferencia entre ambas medidas fuera superior a un 1%.

Una vez fueron cumplimentados los datos y mediciones de todos los sujetos, dichos datos fueron exportados automáticamente a una nueva hoja de Microsoft Excel (2016) (ver Figura 52) la cual estaba diseñada para calcular de forma automática los datos para la definición del perfil antropométrico de cada regatista, la descripción de su proporcionalidad (valores Z) a través del método Phantom, variables derivadas de las variables antropométricas, como son el IMC, peso graso, masa y peso óseo, masa y peso residual, masa y peso muscular, y somatotipo, calculados según el método De Rose y Guimaraes (1980). Además de calcular estos datos, esta hoja de datos también sirvió para ordenar los datos para su posterior análisis estadístico.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	ACAE	AF	AG	
1																																	
2	Código	Nacionalidad	Raza (Sexo)	Deporte	Fecha de la Med	Fecha de Nac	Edad	Peso	Talla	Talla	PL Tr	PL Su	PL Bi	PL Cr	PL Su	PL Ab	PL M	PL P	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	PR Br	
3	Code	Country	Ethnicity	Sex	Date of Mea	Date of Birth	Age	Body	Stret	Sittr	Tricex	Subst	Bicepl	Illaoc	CSupra	Abdo	Front	Medi	HN	Arm g	Coned	Arm g	Fd	Wt	Ch	Waist	Glutea	TH	TH	Call	Call	Conc	
4																																	
5	1	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	28/07/1999	16	53	171	6	7	3	9	8	6	10	6															
6	2	Irlanda	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	16/01/2000	16	64	179	8	8	5	11	8	9	16	11															
7	3	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	03/12/1998	17	63	187	11	9	3	18	11	16	19	19															
8	4	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	3/10/1998	18	66	180	9	8	4	14	7	10	14	10															
9	5	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	13/01/1998	17	61	170	7	7	3	7	6	9	10	7															
10	6	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	11/02/2000	16	61	169	14	11	6	17	14	17	13	14															
11	7	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	14/05/1999	17	58	170	10	7	4	13	9	12	10	8															
12	8	Español	Caucá	2	Vela (L)	13/01/2016	23/06/2000	16	56	162	17	10	7	17	11	12	24	18															
13	9	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	05/08/1999	16	64	176	7	8	4	13	7	12	8	6															
14	10	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	16/10/1997	18	68	175	10	10	4	15	7	13	11	6															
15	11	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	27/02/2001	15	60	168	15	13	5	16	11	15	17	15															
16	12	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	25/08/1997	18	64	172	7	7	4	8	6	8	11	5															
17	13	Español	Caucá	2	Vela (L)	13/01/2016	13/01/1997	19	47	159	10	7	7	11	7	11	16	11															
18	14	España	Caucá	2	Vela (L)	13/01/2016	23/07/1997	19	55	165	12	6	4	9	6	10	23	15															
19	15	Español	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	07/07/1999	17	56	162	5	5	3	6	5	8	9	6															
20	16	España	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	18/02/2002	14	68	172	16	12	6	15	16	22	19	13															
21	17	España	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	15/10/2001	14	56	164	6	8	2	13	7	3	11	9															
22	18	España	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	11/05/1999	17	90	175	24	19	14	45	27.5	32	31	25															
23	19	España	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	05/12/2000	15	54	167	12	9	8	9	19.5	16	24	14															
24	20	España	Caucá	1	Láser 4	03/12/2015	12/04/2001	15	47	160	12	7	8	14	8	13	14																
25	21	España	Caucá	1	Láser 4	03/12/2015	20/07/1999	16	56	176	10	9	4	17	11	12	14	10															
26	22	España	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	30/03/1999	16	63	183	18	12	4	20	11	21	13	11															
27	23	España	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	02/01/1999	17	65	173	8	9	3	10	9	11	9	9															
28	24	España	Caucá	1	Vela (L)	13/01/2016	09/02/2000	15	63	173	5	6	3	6	5	5	6	4															
29	25	España	Caucá	2	Vela (L)	13/01/2016	16/10/1997	18	61	169	16	11	9	21	14	21	25	13															
30	26	España	Caucá	1	Láser 4	09/12/2015	05/11/1994	21	65	170	13	10	7	22	16	26	17	9															
31	27	España	Caucá	1	Láser 4	09/12/2015	09/03/1999	17	64	171	10	11	7	17	14	26	20	11															
32	28	España	Caucá	2	Láser 4	08/12/2015	13/07/2002	13	52	153	18	16	14	24	23	25	28	18															
33	29	España	Caucá	2	Láser 4	08/12/2015	13/04/2002	14	50	170	15	9	11	16	14	18	16																
34	30	España	Caucá	2	Láser 4	03/12/2015	21/04/1998	18	52	170	15	15	8	21	10	19	21	16															

Figura 52. Hoja Excel con datos de antropometría preparados para su análisis

T.5.1.2. Datos de las curvaturas raquídeas con Spinal Mouse®

El software (*MediMouse®* Software, Idiag, Suiza) registró los ángulos de cada articulación vertebral, mostrándose en informes con gráficos. Estos datos quedaron divididos en 3 apartados por cada test realizado: inclinación de la pelvis (INC), curvatura torácica (TOR) y curvatura lumbar (LUM); quedando así definidas las curvaturas raquídeas de cada sujeto en las diferentes posiciones en las que fueron medidas.

Estos datos fueron preparados en una hoja de Microsoft Excel (2016) para su posterior análisis estadístico. Para ello se combinaron en una misma hoja los datos (INC, TOR y LUM) de todos los test y de todos los sujetos (ver Figura 53), quedando emplazados los sujetos en filas y los datos de los test en columnas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	NR	PROT.	DEDSUE_INCL	DEDSUE_TOR	DEDSUE_LUM	SEDRREL_INCL	SEDRREL_TOR	SEDRREL_LUM	MAXFLEXSED_INCL	MAXFLEXSED_TOR	MAXFLEXSED_LUM	DEDPLAN_INCL	DEDPLAN_TOR	DEDPLAN_LUM
2	1	1	84	57	36	1	28	-13	65	69	35	-4	71	40
3	2	1	64	41	40	-14	26	25	35	71	37	-4	45	39
4	3	1	76	53	26	13	32	-6	73	66	27	-3	62	30
5	4	1	78	51	35	6	39	-6	53	80	30	5	53	29
6	5	1	64	56	30	10	23	-8	67	70	31	-14	62	28
7	6	1	61	55	35	-12	12	25	56	67	39	-9	75	37
8	7	2	65	54	36	5	43	-10	55	76	35	-18	60	39
9	8	2	77	57	28	12	26	0	41	77	34	-12	75	33
10	9	2	74	42	48	15	19	-11	56	57	52	-13	48	60
11	10	2	77	51	31	-1	18	2	54	66	29	-4	73	31
12	11	2	63	61	38	0	26	7	53	76	30	-15	62	33
13	12	2	78	35	31	-11	27	16	53	66	31	-1	52	35
14	13	2	82	64	26	-6	19	21	79	77	30	9	79	22
15	14	2	87	60	20	4	47	-6	68	70	26	7	75	22
16	15	2	46	76	35	-11	44	15	48	71	39	-28	89	38
17	16	2	64	65	21	7	39	-9	55	78	21	-11	72	22
18	17	2	71	64	43	-18	34	27	48	70	44	-18	84	36
19	18	2	73	58	39	4	31	14	72	65	33	-7	75	23
20	19	2	77	57	28	-2	35	3	0	62	26	46	86	27
21	20	1	72	41	31	-9	24	21	58	68	29	-5	36	32
22	21	1	45	79	38	-7	28	24	33	80	40	-29	73	41
23	22	1	60	43	48	-2	44	7	52	74	43	-16	51	44
24	23	1	81	42	33	6	25	1	60	63	37	4	55	30
25	24	1	71	51	40	-21	17	30	51	67	42	2	35	47
26	25	2	74	40	48	5	45	-3	59	57	38	-6	53	43
27	26	1	65	53	21	2	33	7	59	70	17	-9	65	15
28	27	1	48	50	15	1	31	5	64	58	31	-30	55	31
29	28	1	91	31	35	0	44	10	89	72	34	16	65	19
30	29	1	96	64	26	-8	43	19	76	69	23	17	69	27
31	30	1	93	41	29	5	36	0	62	69	29	10	66	28

Figura 53. Hoja de datos curvaturas raquídeas

T.5.1.3. Datos del simulador de navegación VSail-Trainer®

Como resultado de los test de navegación, el software empleado para su recolección facilitaba la exportación de la información de interés para la presente Tesis Doctoral: la velocidad de la embarcación (m/s), la escora (°), el ángulo de la

embarcación con respecto al viento durante el periodo de navegación ($^{\circ}$), el coeficiente de variación del ángulo del timón (%) y el desplazamiento total de la embarcación (m). Todas estas variables se calcularon durante el minuto que se registró a los regatistas.

Todos estos datos se obtuvieron a través de la exportación del archivo, con extensión *.sbp*, una vez guardada la regata realizada por cada regatista. Estos datos se abrieron en una hoja de cálculo Microsoft Excel (2016) (ver Figura 54) que facilitó la transformación de los datos para su posterior análisis.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		Laser	Date	#VALOR!										706
2	Time	X position	Y position	Fwd Velocity	Side Velor	Wind velo	Hiking eff	Heading	Boom ang	Rudder an	Heel angl	Actual Wind	X position	Y position
3	-0.99897	19.9392	-14.8125	6.199595677	0.343438	13.99891	-705.085	-429.491	39.37498	10.19533	3.86719	13.9989114	-141.0	-96.9
4	-0.99792	19.8788	-14.6205	6.203561154	0.321555	13.99891	-47.4953	-70.1558	27.77344	-21.7969	-5.74218	13.9989114	-140.8	-96.8
5	-0.99688	19.8227	-14.4345	5.959820387	0.327216	13.99891	-192.529	-70.6325	-27.7734	-21.7969	-5.74218	13.9989114	-140.6	-96.8
6	-0.99583	19.7713	-14.2534	5.63410699	0.383038	13.99891	-655.794	-70.7437	25.66404	-21.7969	-5.74218	13.9989114	-140.4	-96.7
7	-0.9948	19.725	-14.0819	5.477820543	0.428334	13.99891	-221.518	-70.4606	25.66404	-21.7969	-5.74218	13.9989114	-140.3	-96.7
8	-0.99323	19.6567	-13.8282	5.36013918	0.454012	13.99891	-252.257	-69.4419	23.5547	-21.7969	-5.74218	13.9989114	-140.0	-96.6
9	-0.99218	19.6098	-13.6612	5.309929243	0.454317	13.99891	-258.518	-68.4879	23.5547	-21.7969	-5.74218	13.9989114	-139.9	-96.6
10	-0.99115	19.5612	-13.4989	5.273890055	0.44307	13.99891	-271.955	-67.4251	21.44529	-21.4453	-5.625	13.9989114	-139.7	-96.5
11	-0.98958	19.481	-13.2569	5.238628411	0.411671	13.99891	-320.512	-65.7354	21.44529	-21.4453	-5.625	13.9989114	-139.5	-96.4
12	-0.98802	19.3928	-13.0193	5.210675686	0.368208	13.99891	-330.819	-64.1111	19.33595	-17.2265	-5.625	13.9989114	-139.2	-96.3
13	-0.98698	19.3303	-12.8652	5.195280305	0.327721	13.99891	-397.574	-63.2362	17.57812	-16.875	-5.15625	13.9989114	-139.1	-96.3
14	-0.98542	19.2302	-12.6345	5.185774823	0.328032	13.99891	-475.641	-62.0788	17.57812	-16.875	-5.15625	13.9989114	-138.8	-96.2
15	-0.98385	19.1257	-12.4061	5.182820154	0.323795	13.99891	-498.361	-60.9237	16.87498	-13.0078	-4.45313	13.9989114	-138.6	-96.1
16	-0.98282	19.0541	-12.2567	5.185075033	0.305208	13.99891	-552.837	-60.305	16.87498	-13.0078	-4.45313	13.9989114	-138.5	-96.0
17	-0.98125	18.9421	-12.0321	5.157686028	0.296005	13.99891	-578.597	-59.5492	14.0625	-0.70312	-4.10156	13.9989114	-138.2	-95.9
18	-0.97995	18.8472	-11.8491	5.101858331	0.24854	13.99891	-640.449	-59.3252	14.0625	-0.70312	-4.10156	13.9989114	-138.0	-95.8
19	-0.9789	18.7697	-11.7025	5.117486976	0.254562	13.99891	-678.376	-59.3871	9.843759	-0.70312	-3.86719	13.9989114	-137.9	-95.7
20	-0.97708	18.6369	-11.4466	5.149366301	0.310032	13.99891	-786.005	-59.4908	7.38279	-0.70312	-3.39844	13.9989114	-137.6	-95.6
21	-0.97605	18.5623	-11.2996	5.169154809	0.338345	13.99891	-808.616	-59.4805	7.38279	-0.70312	-3.39844	13.9989114	-137.5	-95.5
22	-0.97422	18.4305	-11.0366	5.201597854	0.372247	13.99891	-809.971	-59.3745	7.031223	-1.05469	-3.39844	13.9989114	-137.2	-95.4
23	-0.9724	18.2998	-10.7741	5.232408055	0.390137	13.99891	-805.756	-59.2026	7.031223	-15.8203	-3.39844	13.9989114	-137.0	-95.3
24	-0.97083	18.1881	-10.548	5.157822098	0.449623	13.99891	-840.577	-58.8634	7.031223	-15.8203	-3.39844	13.9989114	-136.7	-95.1
25	-0.9698	18.1159	-10.3995	5.151796128	0.489841	13.99891	-828.228	-58.3598	7.031223	-15.8203	-3.39844	13.9989114	-136.6	-95.1
26	-0.96823	18.005	-10.1745	5.16297333	0.517036	13.99891	-813.832	-57.2915	7.031223	-15.8203	-3.39844	13.9989114	-136.4	-95.0
27	-0.96664	17.8698	-9.91453	5.134398569	0.474631	13.99891	-739.123	-56.0074	7.031223	-4.57031	-3.39844	13.9989114	-136.1	-94.8
28	-0.96537	17.7903	-9.77125	5.097056994	0.417506	13.99891	-789.174	-55.621	7.031223	1.054689	-3.39844	13.9989114	-136.0	-94.7
29	-0.9638	17.6666	-9.55704	5.105493352	0.377628	13.99891	-806.327	-55.5148	7.031223	1.40625	-3.39844	13.9989114	-135.8	-94.6
30	-0.96198	17.5719	-9.30812	5.135700956	0.391183	13.99891	-813.37	-55.6311	7.031223	-0.35156	-3.51562	13.9989114	-135.5	-94.5

Figura 54. Archivo generado por el software del simulador. Información sobre valores de las variables de navegación

El nuevo archivo generado en Microsoft Excel (2016) presentó los datos de cada variable en columnas, con una frecuencia de muestreo de 7 Hz. Una vez localizadas las variables objeto de estudio, se seleccionaron los valores de cada una de ellas en el último minuto de la prueba dejando los primeros 30 segundos

para la adaptación al rumbo y a la intensidad del viento. Estos datos se exportaron a una base creada en Microsoft Excel (2016), en la cual se añadió a posteriori los datos obtenidos por el sistema de análisis cinemático en 3D y por la célula de carga.

A partir de estos datos proporcionados por el software del simulador se calculó la variable VMG explicada previamente.

T.5.1.4. Datos sistema de análisis cinemático en 3D, V120: Trio

Con los datos proporcionados por el sistema de análisis cinemático, se introdujo las coordenadas x , y , z de cada marcador, ordenadas en columnas para el posterior cálculo de las variables de interés a través de una rutina diseñada específicamente para esta investigación con la aplicación Matlab (MathWork, Natick, Massachusetts, USA).

El software del sistema de análisis cinemático en 3D permitía reproducir posteriormente dichas grabaciones. A partir de estas grabaciones se comprobó que todos los marcadores habían sido registrados de forma correcta en cada una de las repeticiones y en cada uno de los test. A continuación, se interpolaron aquellos datos perdidos mediante un ajuste realizado por splines de hasta 10 Hz, en los huecos de la señal de los marcadores (en los casos existentes), con un máximo de 10 datos perdidos por señal (a partir de este límite se desechaba la repetición). Una vez rellenada la señal se procedía a su suavizado mediante un filtro de paso bajo a una frecuencia de 8 Hz (Hafer & Boyer, 2017). Con la señal ya preparada, se procedió al etiquetado de marcadores y a la posterior exportación en formato *.csv*. Una vez exportados los datos, se unieron junto con los datos del simulador en un mismo libro de Microsoft Excel (2016) para posteriormente analizarlos conjuntamente. El último paso fue abrir estos archivos a través del programa Matlab, ejecutando la rutina mencionada anteriormente, creada específicamente para este estudio; dicha rutina permitió el cálculo y la extracción de todas las variables, tanto de navegación como cinéticas y cinemáticas. En primer lugar, se introducían las grabaciones de calibración y, a continuación, cada uno de los archivos de coordenadas para extraer las variables.

T.5.1.5. Datos célula de carga

A través del uso de la célula de carga se trató de analizar la fuerza aplicada por el miembro inferior del regatista en la cincha. Se registró durante un minuto (por cada bordo) la fuerza aplicada sobre la célula, haciéndola coincidir con el minuto que se tiene en cuenta para el análisis de las variables de navegación y en el que se llevan a cabo las grabaciones del sistema de análisis cinemático en 3D.

El software de la célula de carga permitía, además de establecer el tiempo de grabación, configurar los Hz a los que se deseaba medir, los cuales se configuraron a una intensidad de 1500 Hz.

Una vez realizadas y guardadas las mediciones, el mismo software permitió exportar los datos de cada grabación en una hoja de Microsoft Excel (2016), mostrando los newtons de fuerza aplicados por el sujeto durante el minuto de grabación.

T.5.1.6. Hoja de datos para análisis estadístico

Cuando todos los datos obtenidos a través de los distintos instrumentos de medida habían sido exportados desde las distintas aplicaciones y se contaba con una hoja de Microsoft Excel (2016) para cada uno, se procedió a la creación de una hoja de Microsoft Excel (2016) en la que aparecieran los datos resultantes del sistema de seguimiento cinemático en 3D, del simulador y de la célula de carga (ver Figura 55).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	Sujeto	Bordo	Viento	Rep	MHD	CV_HD	MHM	CV_HM	MHeelA	XHeelA	Max_KA	Min_KA	Rango_KA	CVKA	Max_KS	
2	1	1	1	16	1	0,8905449	1,4115765	463,89464	1,4115765	4,6870203	4,7081183	137,87592	135,955	1,9209256	0,4700221	3,1447105
3	1	1	1	16	2	0,893208	0,5473216	465,28186	0,5473216	4,7053951	4,7103424	134,33269	133,92321	0,409479	0,0656855	0,6850259
4	1	1	1	16	3	0,8365385	2,8415375	435,76213	2,8415375	4,6705309	4,7141665	135,16708	131,17791	3,989168	0,719544	10,549735
5	1	2	2	16	1	0,9207772	0,4255448	479,64296	0,4255448	7,1468007	7,1535673	124,86709	124,03514	0,8319499	0,1933005	1,9117925
6	1	2	2	16	1	0,8297576	1,3075092	432,22984	1,3075092	8,7967465	10,983105	139,11814	132,6006	6,5175381	0,9117353	15,122004
7	1	2	2	16	2	0,7417131	5,3685071	386,3665	5,3685071	11,083068	11,468764	139,7387	131,5907	8,1480012	1,1567076	27,916092
8	2	1	1	16	3	0,8608741	0,2280474	448,43877	0,2280474	11,520404	11,523593	129,10392	127,55111	1,5528061	0,3308451	5,9158839
9	2	1	1	16	1	0,7624266	1,6514693	397,15641	1,6514693	1,2150511	1,1824899	129,58447	126,39183	3,1926382	0,6279119	3,4535353
10	2	1	1	16	2	0,7865035	0,2586185	409,69832	0,2586185	1,1652716	1,1600579	129,92181	129,05088	8,8709303	0,1677469	1,1918865
11	2	2	2	16	3	0,7944924	0,361538	413,85981	0,361538	1,1582803	1,153702	130,94403	129,20196	1,7420693	0,4088808	2,0298909
12	2	2	2	16	1	0,9142679	0,5322709	476,25219	0,5322709	5,2488798	5,2314774	136,85092	132,35387	4,4970435	0,7575981	12,540936
13	2	2	2	16	2	0,9230921	1,5606878	480,84884	1,5606878	5,3218543	5,2828955	132,10488	129,98279	2,1220897	0,4437194	3,4142124
14	3	1	1	16	3	0,9172106	2,9618287	477,78509	2,9618287	6,1981732	5,7514728	132,25021	127,03957	5,2106356	1,1457281	15,408734
15	3	1	1	16	1	0,9470526	0,9147973	493,33009	0,9147973	10,534603	9,2260013	137,50011	130,87533	6,6247776	1,3379475	10,588097
16	3	1	1	16	2	0,9299287	0,3028496	484,41008	0,3028496	10,19865	10,1922293	132,69981	132,19131	0,5085011	0,0981661	0,9983053
17	3	2	2	16	3	0,9349178	0,3256295	487,00898	0,3256295	9,739108	9,7202344	129,97822	129,16085	0,8173688	0,145889	1,3973588
18	3	2	2	16	1	0,7219385	6,2232043	453,26187	6,2232043	6,4224022	7,4553999	151,42543	137,81525	13,610179	1,9996392	22,648255
19	3	2	2	16	2	0,7746641	5,7370762	486,36511	5,7370762	4,7546074	4,8242747	147,10696	142,28756	4,8193984	1,1716771	3,5469972
20	4	1	1	16	3	0,8129191	0,4528031	510,38314	0,4528031	4,8349892	4,8442406	144,53715	143,59016	0,9469974	0,1573203	3,3447238
21	4	1	1	16	1	0,8495915	1,5036792	533,65864	1,5036792	5,5175802	5,6692435	146,88009	144,87495	2,0051386	0,2634833	5,4322079
22	4	1	1	16	2	0,851255	2,3266356	534,45194	2,3266356	4,5124345	5,8574388	146,19727	138,37113	7,8261464	1,0716234	28,248698
23	4	2	2	16	3	0,8352008	1,7481081	524,37247	1,7481081	6,0221204	6,2058336	151,99949	143,54105	8,4584476	1,1588956	17,190889
24	4	2	2	16	1	0,7372416	5,5310941	462,86975	5,5310941	3,5104099	4,8298966	146,68055	55,939157	90,741389	12,978909	537,87356
25	4	2	2	16	2	0,9107951	1,5806475	571,83362	1,5806475	8,00622	8,6903714	151,87716	139,14074	12,736418	2,0984387	13,808118
26	5	1	1	16	3	0,9500525	0,7882836	596,48094	0,7882836	8,828945	9,4897772	143,67956	138,55666	5,1228964	0,8754909	6,4779538
27	5	1	1	16	2	0,7746641	5,7370762	486,36511	5,7370762	4,7546074	4,8242747	147,10696	142,28756	4,8193984	1,1716771	3,5469972
28	5	1	1	16	3	0,764771	2,5902379	480,15385	2,5902379	2,2413801	2,2925955	146,14646	137,55529	8,5911773	1,3529417	16,817067
29	5	2	2	16	1	0,8956138	4,0068914	562,30219	4,0068914	2,866536	2,6896008	151,40403	146,53682	4,8672075	1,0834075	8,1300355
30	5	2	2	16	2	0,9010677	1,3756959	565,72635	1,3756959	2,3700921	2,3295396	150,75186	145,16355	5,5883058	0,7310968	8,8918956
31	5	2	2	16	3	0,9137425	2,5108525	573,68411	2,5108525	2,4473429	2,2488269	152,06494	146,28152	5,7834166	0,8591794	9,7372359
32	6	1	1	16	1	0,9437564	1,406632	592,52802	1,406632	5,7995428	5,2574262	142,87588	140,12122	2,7546643	0,390407	4,4064691
33	6	1	1	16	2	0,9721034	0,2792315	610,32543	0,2792315	5,7378271	5,6599616	141,17018	139,48881	1,6813719	0,3307736	3,8327266
34	6	1	1	16	3	0,9624147	7,1562542	604,24247	7,1562542	5,9328184	5,6488941	139,32137	33,112185	106,20919	19,094178	658,93178

Figura 55. Hoja de datos para resultados cámaras 3D, simulador y célula de carga

Se creó una hoja de datos en la que se incluyeron todas las variables excepto las de control, para su posterior análisis estadístico.

4.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Cuando la base de datos estuvo completa, fue exportada al programa IBM SPSS Statistics (v.21) software utilizado para el tratamiento estadístico. Debido al gran número de variables, fue necesaria la creación de varios ficheros, donde se fueron analizando de manera desglosada las variables, con la intención de facilitar el aprovechamiento de la totalidad de los datos.

El análisis estadístico quedó dividido en 4 apartados, previos a los cuales se estudió la normalidad de los datos a través de la prueba Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

En primer lugar, se llevó a cabo el análisis descriptivo de cada uno de los

grupos de variables presentados: variables biomecánicas (cinemáticas y cinéticas) y de navegación, antropometría, extensibilidad y curvaturas raquídeas. Para las variables biomecánicas y de navegación se diferenció entre descriptivos navegando a Babor y a Estribor, además, debido al gran número de variables se dividieron las mismas quedando diferenciadas en los siguientes grupos: cinemática del miembro superior y del miembro inferior, centro de gravedad (CDG), *hiking* y navegación.

A continuación, se realizó un análisis inferencial mediante una comparación de medias para muestras independientes relacionadas mediante la prueba *t-Student* para las variables cinemáticas, cinéticas y de navegación. Con el objetivo de conocer si existían diferencias significativas en dichas variables, al compararlas en función del bordo de navegación. En todos los análisis se consideró como significativo un valor de $p < 0,05$. Después del análisis, para identificar cambios significativos, se calcularon los intervalos de confianza de las diferencias (IC del 95%) y los tamaños del efecto (ES; *d* de Cohen). El ES se evaluó utilizando los siguientes criterios: 0-0.2 = trivial; 0.2-0.5 = pequeño; 0.5-0.8 = medio; y > 0.8 = alto. (Cohen, 1992).

En tercer lugar, debido al gran número de variables con las que se contaban para tratar de describir la navegación en *Laser 4.7* se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) con la intención de comprobar si dichas variables se agrupaban en distintos factores que facilitarían su comprensión y el posterior análisis correlacional de las mismas con otras variables. Esta técnica estadística posibilita identificar una estructura teórica cuando no existe un conocimiento previo del cómo se relacionan o agrupan entre sí los factores objeto de estudio, permite reducir el número de variables analizadas perdiendo muy poca información (explicando la mayor varianza posible), transformándolas en un conjunto nuevo de variables o factores linealmente independientes entre sí (Barbado, 2014). Dado que presentamos un número de variables reducido, se aplicó la rotación ortogonal VARIMAX para facilitar la interpretación de los datos (Barbado, 2014). En cada factor se mostraron solo aquellas variables cuya carga factorial fue > 0.50 .

Por último, se llevaron a cabo una serie de estudios correlacionales

utilizando el estadístico de correlación de Pearson (r) para comprobar la relación entre la variable VMG (determinante del rendimiento) y el resto de grupos de variables estudiadas. Para ello se realizaron análisis correlacionales entre VMG y los factores principales (obtenidos a través de la rotación factorial), VMG y valores antropométricos, VMG y extensibilidad de los sujetos, y, por último, VMG y curvaturas raquídeas.

En el capítulo de resultados se encuentran definidos de forma más específica cada uno de los análisis estadísticos llevados a cabo con sus correspondientes resultados.

V - RESULTADOS

V - RESULTADOS

En este apartado se procede a la presentación de los resultados obtenidos tras el análisis estadístico de las variables antropométricas, de flexibilidad, cinemáticas, cinéticas y de manejo de la embarcación. Para ello, se presenta un análisis descriptivo, seguido de un análisis inferencial, un análisis de componentes principales y, por último, un estudio correlacional.

5.1 ESTUDIO DESCRIPTIVO

En primer lugar, se comprobó que los datos analizados cumplían la condición de normalidad a través de la prueba Shapiro-Wilk y que existía homogeneidad entre sus varianzas a través de la prueba de Levene.

5.1.1 Antropometría

Se llevó a cabo un análisis descriptivo de la muestra para su perfil antropométrico (ver Tabla 9), la descripción de su proporcionalidad (ver Tabla 10), y la descripción de su somatotipo (ver Tabla 11). En el apartado de discusión se explica con detalle el significado de los resultados para cada una de las secciones.

En la Tabla 9 se muestran las medias de los valores antropométricos de base de los regatistas, así como las de sumatorios de pliegues, diámetros óseos, diámetros corporales y pliegues cutáneos. También se puede observar el mínimo y el máximo para cada una de estas variables.

Tabla 9.

Perfil antropométrico de los regatistas

Variabes	Media \pm DE	Mínimo	Máximo
Peso (kg)	60,2 \pm 8,2	47	89,7
Talla (cm)	171 \pm 7,3	153	187,3
Envergadura (cm)	172,6 \pm 8,2	153	188
Envergadura relativa	1,01 \pm 0,01	0,98	1,06
PL Tríceps (mm)	12 \pm 5	5	24
PL Subescapular (mm)	10 \pm 3	5	19
PL Bíceps (mm)	6 \pm 3	2	14
PL Cresta Iliaca (mm)	15 \pm 7	6	45
PL Supraespinal (mm)	10,9 \pm 5,3	5	27,5
PL Abdominal (mm)	15 \pm 7	5	32
PL Muslo (mm)	15,9 \pm 6,3	6	31
PL Pierna Medial (mm)	12 \pm 5	4	25
PR Brazo Relajado (cm)	26 \pm 2,4	22	34
PR Brazo Contraído (cm)	28,1 \pm 2,4	23,4	34
PR Cintura (cm)	70,8 \pm 5,6	62,2	89
PR Cadera (cm)	86,9 \pm 8,1	71	107
PR Pierna (máx.) (cm)	33,6 \pm 4,7	11	40
D Húmero (cm)	6,7 \pm 0,5	5,5	7,6
D Biestiloideo (cm)	5,6 \pm 0,4	4,6	6,6
D Fémur (cm)	9,4 \pm 0,5	8,4	10,3

DE: desviación estándar; PL: pliegue; PR = perímetro; D= diámetro.

Al observar los datos descriptivos del perfil antropométrico de los regatistas, cabe destacar que la **envergadura** de los regatistas (172,6 \pm 8,2 cm) es **mayor que su talla** (171 \pm 7,3 cm). También es importante resaltar el resultado de la **envergadura relativa**, la cual supera el valor 1 (1,01).

El resto de los resultados nos describen el perfil antropométrico de los regatistas de clase *Laser 4.7* de la Región de Murcia.

En la Tabla 10 se muestran los valores Z (*phantom*) de las variables vistas en la tabla anterior.

Tabla 10.

Descripción de la proporcionalidad (valores Z) de los regatistas

VARIABLES	Media ± DE	Mínimo	Máximo
Z Peso	- 0,61 ± 0,83	-2,18	2,08
Z Envergadura	- 0,08 ± 0,41	- 0,68	1,20
Z PL Tríceps	- 0,86 ± 1,04	-2,40	1,78
Z PL Subescapular	-1,50 ± 0,63	-2,47	0,25
Z PL Bíceps	-1,08 ± 1,63	-2,96	3,79
Z PL Cresta Iliaca	-1,07 ± 1,08	-2,47	3,14
Z PL Supraespinal	-1,00 ± 1,23	-2,40	2,54
Z PL Abdominal	-1,38 ± 0,86	-2,63	0,74
Z PL Muslo	-1,33 ± 0,79	-2,53	0,50
Z PL Pierna Medial	- 0,93 ± 1,05	-2,58	1,78
Z PR Brazo Relajado	- 0,43 ± 1,03	-2,67	2,65
Z PR Brazo Corregido	1,41 ± 1,13	- 0,97	4,54
Z PR Brazo Contraído	- 0,61 ± 0,93	-2,59	1,54
Z PR Cintura	- 0,32 ± 1,2	-2,57	3,29
Z PR Cadera	-1,45 ± 1,42	-4,17	1,68
Z PR Pierna (máx.)	- 0,74 ± 2,15	-10,88	2,23
Z PR Pierna Corregido	1,10 ± 2,46	-10,67	4,14
Z D Húmero	0,50 ± 1,2	-2,20	2,65
Z D Fémur	- 0,29 ± 0,99	-3,20	1,89
Z D Biestiloideo	1,37 ± 1,25	- 0,84	4,71

DE: desviación estándar; PL: pliegue; PR = perímetro; D= diámetro.

Al observar los resultados para valores Z de la muestra, observamos varios valores a destacar. En primer lugar, podemos ver como los valores de todos los **pliegues cutáneos** son **negativos**. En esta misma línea, los valores de los **perímetros** también son **negativos**, salvo para los perímetros **Brazo corregido** y

Pierna corregida, los cuales son **positivos**. Por último, los **diámetros de Húmero y Biestiloideo** son **positivos**.

En la Tabla 11 se muestran los valores de las medidas derivadas de las variables antropométricas de los regatistas, así como el somatotipo de los mismos, representado en la Figura 57 mediante su somatocarta.

Tabla 11.

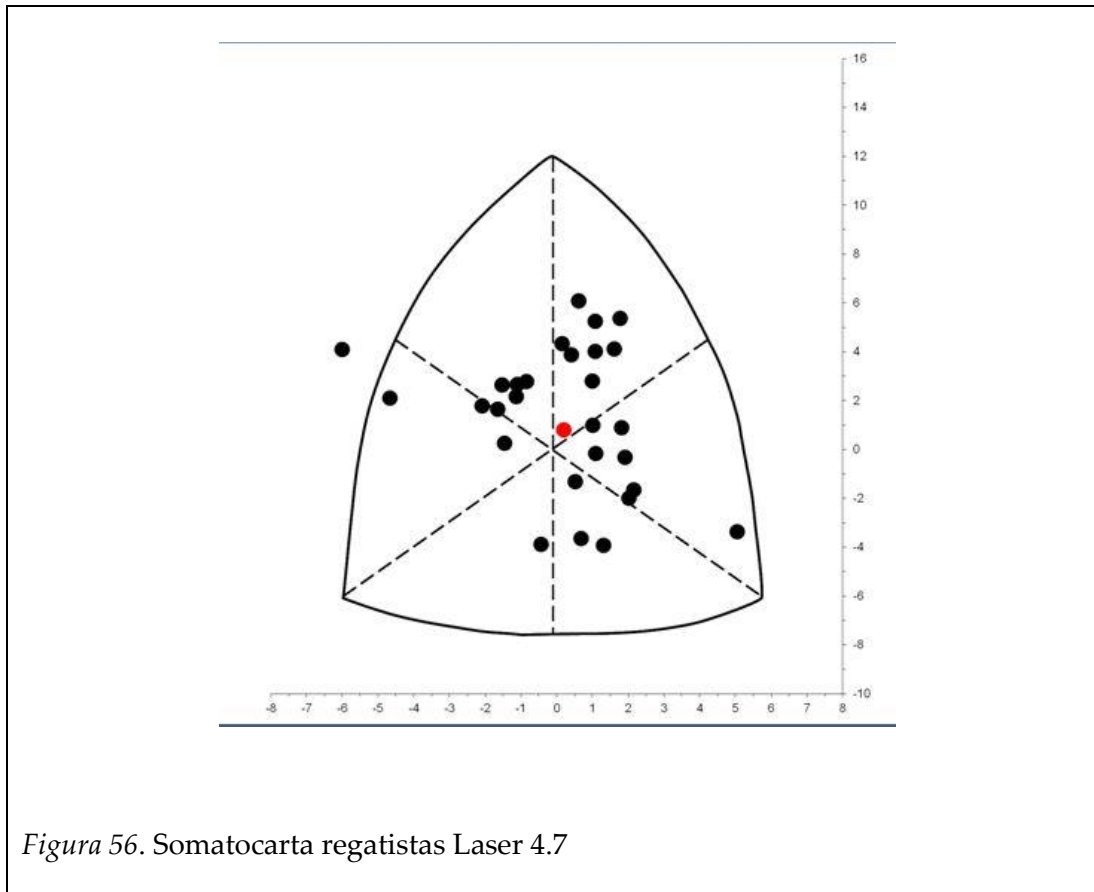
Variables derivadas de las medidas antropométricas.

Variables	Media ± DE	Mínimo	Máximo
IMC (kg/m ²)	20,5 ± 2,3	16,9	29,3
Sumatorio 6 PL (mm)	74,3 ± 27,6	31	158,5
Sumatorio 8 PL (mm)	95,2 ± 36,7	40	217,5
PR Brazo Corregido (cm)	24,9 ± 2,3	21	31,6
PR Pierna Corregido (cm)	32,5 ± 4,7	9,9	37,5
% Masa Grasa	12 ± 4,1	6,6	22,9
Peso Graso (kg)	7,2 ± 2,8	4,1	17,1
% Masa Ósea	18,6 ± 2,1	12,9	23,2
Peso Óseo (kg)	11,1 ± 1,4	7,7	14,0
% Masa Residual	23,4 ± 1,4	20,9	24,1
Peso Residual (kg)	14,1 ± 2,4	9,8	21,6
% Masa Muscular	46,0 ± 2,3	41,4	49,9
Peso Muscular (kg)	27,7 ± 4,2	20,9	39,4
Endomorfia	3,2 ± 1,2	1,2	6,5
Mesomorfia	3,8 ± 1,4	-1,1	5,5
Ectomorfia	3,5 ± 1,2	0,5	6,2

DE: desviación estándar; Kg= kilogramos

En cuanto a las variables derivadas de las medidas antropométricas, cabe destacar los valores para los **sumatorios de 6 y 8 pliegues** (74,3 ± 27,6 mm; 95,2 ±

36,7 mm, respectivamente), el **porcentaje de masa muscular** ($46 \pm 2,3 \%$) y la variable **mesomorfia** ($3,8 \pm 1,4$) referente al somatotipo de los regatistas, ya que están por debajo en el caso de los pliegues, y por encima en el porcentaje de masa muscular y mesomorfia de la población normal.



Como se aprecia en la Figura 56, el somatotipo de la muestra de regatistas de *Laser 4.7* analizada (punto rojo) se clasifica como central, si bien el valor de mesomorfia es el mayor que el de ectomorfia y la endomorfia, en este orden.

5.1.2 Curvaturas del Raquis

En este apartado se muestran los resultados de las curvaturas torácica, lumbar y la inclinación pélvica del raquis en su visión sagital en las diferentes

posiciones analizadas (bipedestación asténica, bipedestación autocorregida, extensión máxima en bipedestación, sedestación relajada, test dedos-planta y test dedos-suelo). Estos resultados se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12.

Descriptivos curvaturas raquídeas regatistas

	Variables	Media ± DE	Mínimo	Máximo
Bipedestación asténica	INC (°)	13 ± 6	1	25
	TOR (°)	40 ± 8	27	62
	LUM (°)	-24 ± 6	-37	-10
Bipedestación autocorregida	INC (°)	10 ± 6	-6	20
	TOR (°)	28 ± 9	-3	41
	LUM (°)	-16 ± 7	-32	-5
Extensión máxima en bipedestación	INC (°)	-19 ± 12	-47	1
	TOR (°)	27 ± 20	-12	67
	LUM (°)	-39 ± 16	-61	30
Sedestación relajada	INC (°)	-1 ± 9	-21	15
	TOR (°)	31 ± 10	12	47
	LUM (°)	7 ± 13	-13	30
Dedos-planta	INC (°)	-5 ± 15	-30	46
	TOR (°)	64 ± 14	35	89
	LUM (°)	33 ± 9	15	60
Dedos-suelo	INC (°)	72 ± 13	45	96
	TOR (°)	53 ± 11	31	79
	LUM (°)	33 ± 8	15	48

DE: desviación estándar; INC= inclinación pélvica; TOR = curvatura torácica; LUM = curvatura lumbar.

Para interpretar la Tabla 12, los resultados van a ser comentados en función de las medias presentadas y los rangos de normalidad descritos en el apartado de variables. Además, se comprobarán en cada test los resultados individuales y se compararán con los mismos rangos de normalidad. Los test para los que no

contamos con referencias para valores de normalidad serán comparados con el test de bipedestación asténica.

En primer lugar, al observar el test de **bipedestación asténica**, comprobamos que la media de la curvatura **torácica** ($40 \pm 8^\circ$) de los regatistas se encuentra dentro de la **normalidad** (entre 20° y 45°). Al analizarla individualmente observamos que el 80% (**24 regatistas**) poseen valores dentro de la **normalidad** (entre 20° y 45°); mientras que el 16,6% (**5**) presentan un **Hipercifosis leve** (entre 46° y 60°) y el 3,3 % (**1**) presenta un **Hipercifosis moderada** (entre 61° y 80°). Por su parte, la media de la curvatura **lumbar** ($-24 \pm 6^\circ$) también se encuentra dentro de la **normalidad** (entre -20° y -40°); al analizar individualmente esta curvatura observamos que, el 86,6% (**26 regatistas**) presentan valores dentro de la **normalidad** (entre -20° y -40°) mientras que el 13,3% (**4**) presentan una **rectificación lumbar** ($> -20^\circ$). En cuanto a la **inclinación pélvica** de los regatistas, muestra una anteversión pélvica con una media de $13 \pm 6^\circ$.

En segundo lugar, el test de **bipedestación autocorregida** nos muestra unas medias tanto para la curvatura **torácica** ($28 \pm 9^\circ$) como para la curvatura **lumbar** ($-16 \pm 7^\circ$) dentro de la **normalidad** y menores que en el test anterior. Al comprobar individualmente, los regatistas que presentaban valores fuera de la normalidad en el test anterior, muestran valores dentro de la normalidad en este test, tanto a nivel torácico (entre 20° y 45°) como lumbar (entre -20° y -40°). En la misma línea, la **inclinación pélvica** en este test, aunque sigue mostrando una anteversión ($10 \pm 6^\circ$), es **menor** que en el test de bipedestación asténica.

Por su parte, el test de **extensión máxima en bipedestación** muestra una media para la curvatura **torácica** de $27 \pm 20^\circ$ y una curvatura **lumbar** de $-39 \pm 16^\circ$. En este test la curvatura más importante es la lumbar, la cual nos está mostrando que los regatistas son capaces de realizar una gran flexión de esta zona, hasta 15° más que en **bipedestación asténica** (-24). En cuanto a la **inclinación pélvica** ($-19 \pm 12^\circ$), nos muestra como los regatistas son capaces de realizar una **retroversión pélvica** de hasta 32° con respecto a su posición inicial en bipedestación asténica (13°).

Para el test de **sedestación relajada**, la media de la curvatura **torácica** ($31 \pm 10^\circ$) de los regatistas se encuentra dentro del rango de **normalidad** para los valores de este test ($< 20^\circ$). Al analizar a los regatistas individualmente encontramos que el 76,6% (**23 regatistas**) se encuentran dentro de esta **normalidad** ($< 20^\circ$) mientras que el 23,3% (**7**) presentan un **Morfotipo cifótico leve** (entre 41° y 53°). En cuanto a la zona **lumbar** ($7 \pm 13^\circ$), la media de los regatistas también se encuentra dentro del rango de **normalidad** ($< 14^\circ$). Al observar los casos individuales, comprobamos que la curvatura lumbar del 66,6% (**20**) se encuentra dentro de la **normalidad** ($< 14^\circ$), el 16,6% (**5**) de ellos presentan un **Morfotipo cifótico leve** (entre 14° y 21°), y otro 16,6% (**5**) presentan un **Morfotipo cifótico moderado** ($> 21^\circ$). La **inclinación pélvica** muestra una media de $-1 \pm 9^\circ$.

En cuanto al test **dedos-planta**, observamos que la media de la **curvatura torácica** ($64 \pm 14^\circ$) de los regatistas se encuentra dentro de la **normalidad** ($< 67^\circ$); al analizarlos individualmente comprobamos que el 56,6% (**17 regatistas**) de ellos presentan valores de **normalidad** ($< 67^\circ$), el 30% (**9**) de ellos presentan un **Morfotipo cifótico leve** (entre 67° y 76°), y el 13,3% (**4**) restante muestra un **Morfotipo cifótico moderado** ($> 76^\circ$). Para la curvatura **lumbar** ($33 \pm 9^\circ$), la media de los regatistas muestra un **Morfotipo cifótico moderado**; los casos individuales nos muestran que el 20% (**6**) presentan valores dentro de la **normalidad** ($< 23^\circ$), el 30% (**9**) presenta un **Morfotipo cifótico leve** (entre 23° y 31°), y el 50% (**15**) muestran un **Morfotipo cifótico moderado** ($> 31^\circ$). Para la **inclinación pélvica** ($-5 \pm 15^\circ$), los regatistas se encuentran en **retroversión pélvica** ($< 0^\circ$).

Por último, al observar los resultados para el test **dedos-suelo**, comprobamos que la media de la **curvatura torácica** ($53 \pm 11^\circ$) de los regatistas se encuentra en **Morfotipo cifótico leve**; al analizar los casos individuales se observa que el 43,3% (**13 regatistas**) muestran valores torácicos dentro de la **normalidad** ($< 52^\circ$), el 36,6% (**11**) un **Morfotipo cifótico leve** (entre 52° y 63°) y el 20% (**6**) muestran un **Morfotipo cifótico moderado** ($> 63^\circ$). En cuanto a la **curvatura lumbar** ($33 \pm 8^\circ$), los regatistas muestran un **Morfotipo cifótico moderado**; al observarlos individualmente, el 13,3% (**4**) presentan una curvatura lumbar **normal** ($< 22^\circ$), el 20% (**6**) presentan un **Morfotipo cifótico leve** (entre 22° y 29°), y el 66,6% (**20**) muestran un **Morfotipo cifótico moderado** ($> 29^\circ$). En cuanto a la

inclinación pélvica ($72 \pm 13^\circ$), los regatistas se muestran en **retroversión pélvica** ($< 90^\circ$).

Cabe destacar que tanto en el test dedos-planta como en el test dedos-suelo se observa el **mismo valor medio** para la zona **lumbar (33°)**.

5.1.3. Extensibilidad

En la Tabla 13 se muestran los estadísticos descriptivos para los test de extensibilidad para la musculatura isquiosural, así como para Psoas Iliaco. Los resultados de los test EPR pasivo van a ser comparados con los rangos de normalidad comentados en el método, para los test EPR activos no hay referencias, por lo que se van a comparar con los mismos valores de EPR pasivos, ya que nunca van a ser mayores. Por su parte, los resultados para el test dedos-planta y el test dedos-suelo, así como los valores para Psoas iliaco, también van a ser comparados con los rangos de referencia encontrados en la literatura.

Tabla 13.

Resultados test de flexibilidad de los regatistas

VARIABLES	Media \pm DE	Mínimo	Máximo
EPR pasivo derecho ($^\circ$)	77 ± 10	60	110
EPR pasivo izquierdo ($^\circ$)	75 ± 6	64	88
EPR activo derecho ($^\circ$)	64 ± 10	48	84
EPR activo izquierdo ($^\circ$)	62 ± 11	44	88
Dedos-planta (cm)	$2,6 \pm 8,3$	-13	15
Dedos-suelo (cm)	-3 ± 10	-30	10
Psoas derecho ($^\circ$)	-9 ± 10	-40	8
Psoas izquierdo ($^\circ$)	-7 ± 9	-24	12

DE: desviación estándar

Al observar el test **EPR**, comprobamos que los regatistas se encuentran en **normalidad** ($\geq 75^\circ$) aunque al límite de mostrar acortamiento (entre 61° y 74°). Al analizar los casos individualmente, observamos que **16** regatistas presentan **cortedad grado I** (entre 61° y 74°) en su musculatura isquiosural, mientras que **14**

de ellos presentan valores de **normalidad** ($\geq 75^\circ$). Por su parte, el test **EPR activo (64º derecho; 62º izquierdo)**, muestra **cortedad grado I** en la musculatura isquiosural de los regatistas.

En cuanto al test **dedos-planta (2,6 cm)**, los regatistas muestran valores dentro de la **normalidad** (≥ -3 cm).

Por su parte, el test **dedos suelo (-3 cm)**, también muestra valores de **normalidad** (≥ -4 cm) para la musculatura isquiosural de los regatistas.

Por último, los valores para **Psoas (-9 cm derecha; -7 cm izquierda)** muestra **acortamiento** en ambas piernas para esta musculatura.

5.1.4. Bordo

Del mismo modo, se llevó a cabo un análisis descriptivo estadístico de las variables cinemáticas, cinética y de navegación analizadas, describiendo los resultados obtenidos tanto en el bordo de Babor como en el bordo de Estribor. Para facilitar su comprensión, dichas variables han sido agrupadas según su naturaleza en los siguientes grupos: cinemática del miembro superior y del miembro inferior, centro de gravedad (CDG), *hiking moment* y navegación. Para cada uno de los grupos se muestran tanto las medias (M) como las desviaciones estándar (DE) para cada variable.

Las Tablas 14 y 15 nos muestran los valores de las variables de cinemática angular del miembro superior e inferior, tanto a babor como a estribor.

Tabla 14.

Estadísticos descriptivos cinemática angular miembro superior en función del bordo

Cinemática angular miembro superior		
	Bordo Estribor	Bordo Babor
Variable	M ± DE	M ± DE
Extensión tronco (°)	119,76 ± 19,75	107,42 ± 19,63
Flexión tronco (°)	102,07 ± 13,91	92,12 ± 14,87
Rango flexo-extensión tronco (°)	17,69 ± 10,91	15,29 ± 9,14
CV tronco (%)	3,90 ± 2,38	3,29 ± 2,16
Velocidad tronco (°/s)	5,26 ± 4,85	8,59 ± 8,03
Extensión brazo (°)	122,10 ± 22,80	107,13 ± 24,78
Flexión brazo (°)	99,32 ± 21,91	81,79 ± 20,06
Rango flexo-extensión brazo (°)	22,78 ± 9,88	25,34 ± 16,34
CV brazo (%)	5,42 ± 2,44	5,22 ± 3,04
CV rotación hombro (%)	69,66 ± 37,49	49,93 ± 37,34
Ángulo sujeto-embarcación (°)	91,38 ± 3,88	90,67 ± 6,42
CV ángulo sujeto-embarcación (%)	0,64 ± 0,40	0,75 ± 0,51

M= media; DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; Ángulo sujeto-embarcación: ángulo de inclinación del sujeto con respecto al eje longitudinal de la embarcación.

Tal como muestra la Tabla 14, los regatistas presentan una mayor angulación en las variables extensión de tronco, flexión de tronco, extensión de brazo, flexión del brazo y ángulo sujeto-embarcación cuando navegan a Estribor.

Tabla 15.

Estadísticos descriptivos cinemática angular miembro inferior en función del bordo

Cinemática angular miembro inferior		
	Bordo Estribor	Bordo Babor
Variable	M ± DE	M ± DE
Extensión rodilla (°)	130,41 ± 18,00	135,62 ± 14,81
Rango flexo-extensión rodilla (°)	3,59 ± 2,14	3,90 ± 3,22
CV rodilla (%)	0,72 ± 0,51	0,75 ± 0,60
CV rotación cadera (%)	35,46 ± 32,79	47,80 ± 56,41
Extensión tobillo (°)	148,20 ± 15,18	146,62 ± 9,60
Rango flexo-extensión tobillo (°)	2,50 ± 2,66	4,09 ± 5,33
CV tobillo (%)	0,54 ± 0,65	0,82 ± 1,19

M= media; DE = desviación estandar; CV rodilla: coeficiente de variación ángulo rodilla sagital; CV rotación cadera: coeficiente de variación rotación de la cadera; CV tobillo: coeficiente de variación del ángulo tobillo sagital.

Tal y como se aprecian los resultados descriptivos de las tablas 14 y 15, existen variables que presentan mayor angulación y porcentaje cuando los regatistas navegan amurados a estribor y otras que presentan mayores valores amurados a babor. En el apartado de inferencia estadística se mostrarán los resultados que presentan diferencias estadísticamente significativas en función al bordo de navegación.

La tabla 16 muestra el comportamiento del CG de los sujetos en los ejes X (medio-lateral), Y (vertical), Z (antero-posterior), tanto a una banda como a la otra.

Tabla 16.

Estadísticos descriptivos del CG en función del bordo

Centro de gravedad (CG)		
	Bordo Estribor	Bordo Babor
Variable	M ± DE	M ± DE
CV CDG x (%)	1,23 ± 0,72	1,37 ± 0,78
CV CDG y (%)	-4,14 ± 2,74	-3,35 ± 2,24
CV CDG z (%)	0,15 ± 0,20	0,15 ± 0,28

M= media; DE = desviación estándar; CV CDG x: coeficiente de variación desplazamiento centro de gravedad horizontal; CV CDG y: coeficiente de variación desplazamiento centro de gravedad vertical; CV CDG z: coeficiente de variación desplazamiento centro de gravedad medio-lateral.

Como se observa en la Tabla 16, el eje en el que mayor coeficiente de variación del centro de gravedad se aprecia es en el eje vertical (Y).

En cuanto al *hiking moment*, en la Tabla 17 encontramos los descriptivos de las variables que lo definen. Estas variables hacen referencia directa a la TSC, describiendo el esfuerzo realizado por el regatista para contrarrestar la escora de la embarcación.

Tabla 17.

Estadísticos descriptivos Hiking Moment en función del bordo

Hiking Moment (HM)		
	Bordo Estribor	Bordo Babor
Variable	M ± DE	M ± DE
Distancia de sacar cuerpo (m)	0,84 ± 0,06	0,81 ± 0,09
Máximo momento sacar cuerpo (N·m)	493,79 ± 68,92	475,44 ± 62,97
Esfuerzo sacando cuerpo (N)	1052,38 ± 101,18	1093,51 ± 91,53

M= media; DE = desviación estándar

Como se puede observar, tanto la **distancia de sacar cuerpo** como el **máximo momento de sacar cuerpo** son mayores cuando los regatistas navegan amurados a Estribor.

En cuanto a las variables de navegación aportadas por el software del simulador, la Tabla 18 muestra los estadísticos descriptivos de las mismas en función del bordo. Dichas variables muestran mayores valores cuando el regatista navega amurado a Estribor. Solo la variable VMG tiene mayores valores en el bordo de Babor.

Tabla 18.

Estadísticos descriptivos variables de navegación en función del bordo

Simulador		
	Bordo Estribor	Bordo Babor
Variable	M ± DE	M ± DE
Escora embarcación (°)	7,72 ± 5,30	4,17 ± 2,67
Velocidad embarcación (m/s)	6,23 ± 0,51	6,11 ± 0,59
CV velocidad embarcación (%)	5,36 ± 4,74	4,91 ± 4,09
Ángulo embarcación-viento (°)	57,10 ± 5,37	55,34 ± 3,94
CV ángulo embarcación-viento (%)	9,30 ± 5,82	8,46 ± 4,87
VMG	3,35 ± 0,38	3,45 ± 0,28
Escora embarcación simulador (°)	5,52 ± 2,45	4,63 ± 2,18
CV timón (%)	390,59 ± 434,49	263,86 ± 226,46
Desplazamiento total (m)	420,16 ± 65,42	386,79 ± 47,18
Célula de carga (N)	331,06 ± 134,35	274,75 ± 123,46

M= media; DE = desviación estándar; Escora embarcación: escora obtenida a través del análisis cinemático; CV velocidad embarcación: coeficiente variación de la velocidad simulador; Ángulo embarcación-viento: Media del ángulo formado entre la dirección de la embarcación y la dirección del viento; CV ángulo embarcación-viento: coeficiente variación del ángulo embarcación-viento; VMG: *velocity made good*; Escora embarcación simulador: escora obtenida a través del software del simulador; CV timón: coeficiente de variación ángulo del timón.

5.2. ESTUDIO INFERENCIAL

Con el fin de comprobar si existían diferencias significativas para las variables cinemáticas, cinética y de navegación a la hora de navegar amurados a un bordo o a otro se llevó a cabo un estudio inferencial sobre dichas variables a través de la prueba *t-Student*. El análisis de las variables cinemáticas y de

navegación mostró diferencias entre bordos únicamente para las variables que se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19.

Diferencias entre bordos

Variable	Sig.	ES	F	Dif	Intervalos de confianza 95%	
					Inferior	Superior
Extensión tronco (°)	0,022	0,63	5,595	12,3	1,9	22,8
Flexión tronco (°)	0,012	0,69	6,802	9,9	2,3	17,6
Extensión brazo (°)	0,020	0,63	5,653	15,0	2,4	27,6
Flexión brazo (°)	0,003	0,83	9,903	17,5	6,4	28,7
Desplazamiento total (m)	0,032	0,58	4,851	33,4	3,0	63,7

Sig: significación; ES: tamaño del efecto; F: estadístico F; Dif: diferencia entre las medias.

Al observar los resultados comprobamos que todas las variables con diferencias significativas entre bordos obtuvieron mayores valores cuando los regatistas navegaban amurados a la banda de Estribor (ver Figura 57).

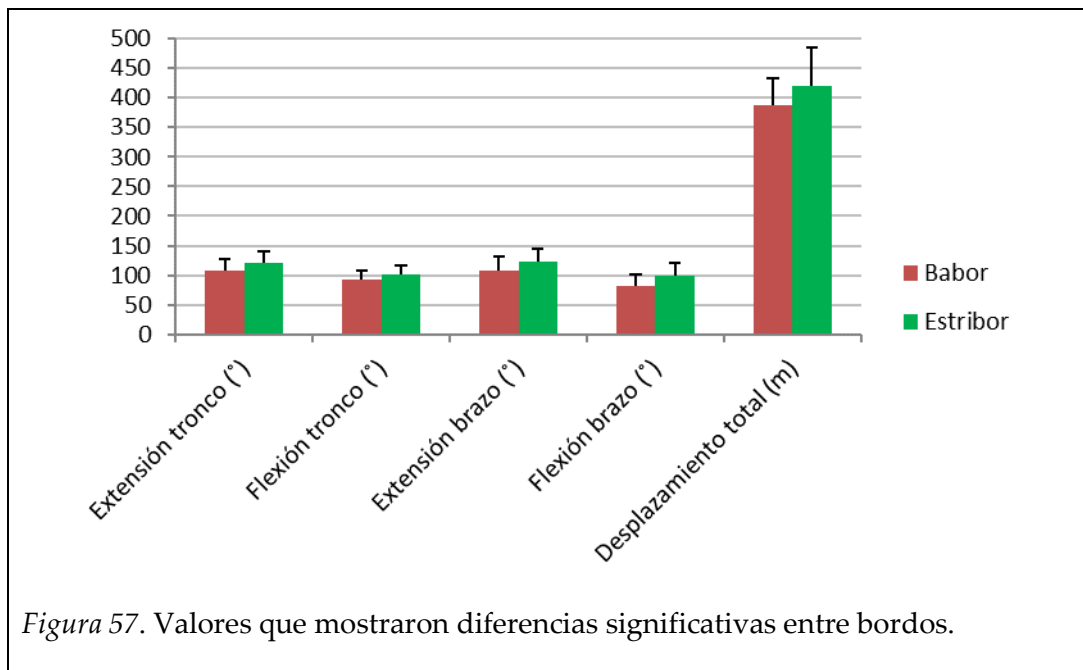


Figura 57. Valores que mostraron diferencias significativas entre bordos.

Dichas variables con diferencias significativas fueron la **extensión y flexión de tronco**; la **extensión y flexión de brazo**; y el **desplazamiento total de la embarcación**. En cuanto al tronco, se muestra que cuando navegaron amurados a Estribor, los regatistas extendieron y flexionaron el tronco un 10,3% y un 9,7% más, respectivamente, que cuando navegaron amurados a Babor. Por su parte, el brazo muestra una extensión del 12,3% y una flexión del 17,7% más al navegar amurados a Estribor. Por último, el desplazamiento total de la embarcación fue un 7,9% mayor cuando los regatistas navegaban a Estribor.

Además, comprobamos que el tamaño del efecto para todas las diferencias fue “medio” (0.5 – 0.8), salvo para la flexión del brazo, para la cual el ES fue “alto” (> 0.8). Estos valores nos muestran que la varianza entre las variables se debe al factor bordo (factor analizado) y no a otras variables.

5.3. ESTUDIO FACTORIAL DE COMPONENTES PRINCIPALES

Debido al gran número de variables utilizadas para valorar el control de la navegación en clase *Laser 4.7* se realizó un análisis de componentes principales (PCA), aplicado sobre la matriz de correlaciones obtenida, con objeto de observar si los resultados de las diferentes variables se agrupaban en distintos factores. Dicho tratamiento se realizó con la idea de conocer si existen varios factores o dimensiones que regulen la técnica de sacar cuerpo, y conocer si alguno de estos factores tiene mayor relación que otros con el rendimiento.

Tabla 20.

Relación entre variables iniciales y factores obtenidos a través de ACP

	Componentes									
	CA	PRRE	RDE	MEB	VN	RBE	RETSC	RE	ER	
Flexo-extensión tobillo	0,95									
CV tobillo	0,93									
Velocidad tronco	0,92									
CV rodilla	0,87									
Flexo-extensión rodilla	0,81									
Flexo-extensión brazo	0,72							0,54		
CV ángulo sujeto-embarcación	0,50									
CV tronco		0,79								
CV centro de gravedad eje X		0,79								
Flexo-extensión tronco		0,79								
Ángulo sujeto-embarcación		0,73								
CV centro de gravedad eje Y		-0,70			-0,45					
Escora simulador			-0,86							
Escora			-0,84							
X_Hi			0,83							
VMG			0,71			-0,46				
Máximo momento sacar cuerpo			0,67					0,42		
Flexión brazo				0,87						
Flexión tronco				0,86						
Extensión brazo				0,86						
Extensión tronco		0,49		0,74						
CV rotación hombro				0,41						

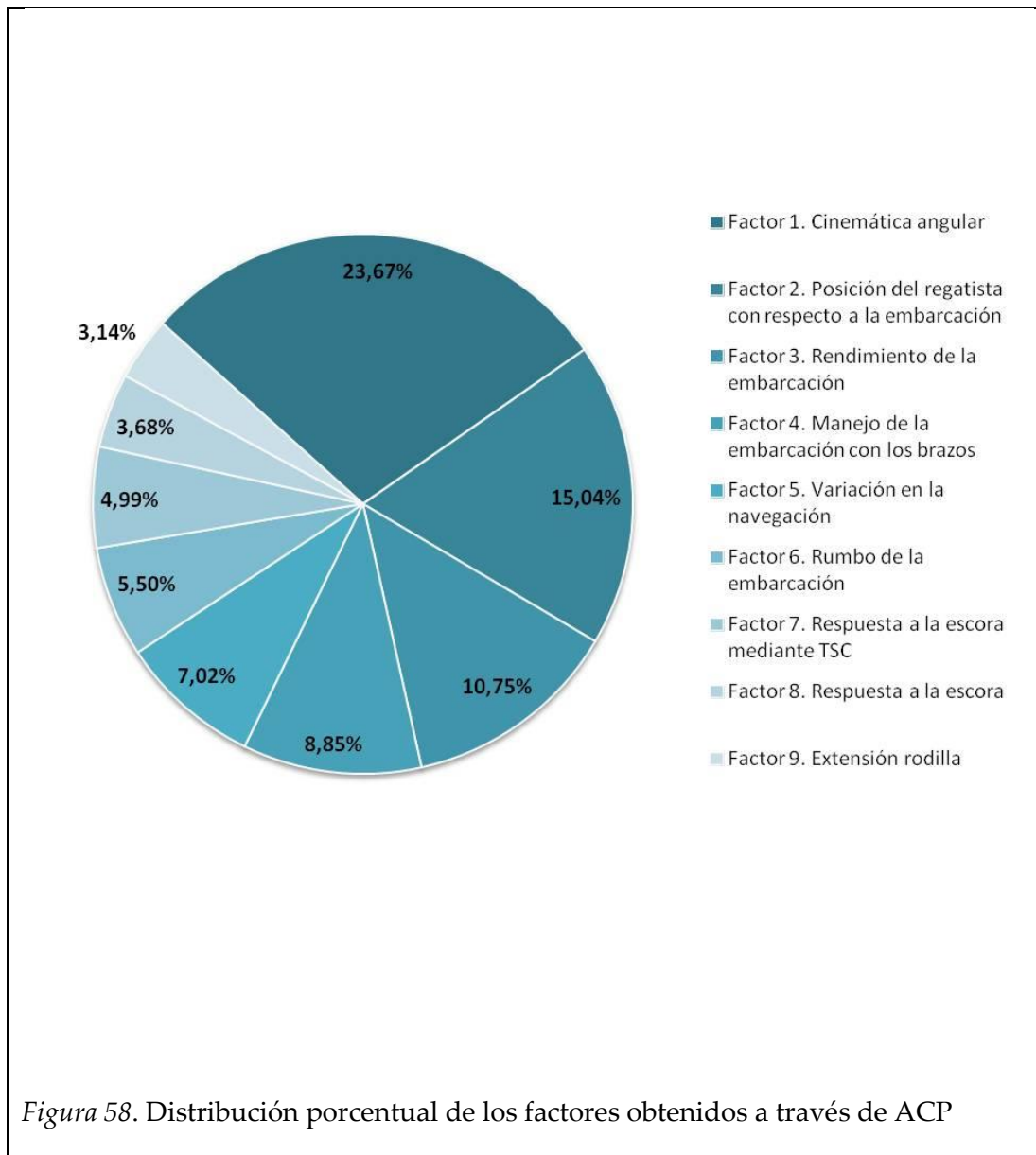
Tabla 20.

Relación entre variables iniciales y factores obtenidos a través de ACP (continuación tabla 20).

	Componentes								
	CA	PRRE	RDE	MEB	VN	RBE	RETSC	RE	ER
CV ángulo con respecto al viento					0,81				
Ángulo con respecto al viento						0,86			
Desplazamiento total embarcación						0,70			
Velocidad embarcación			0,56		-0,41	0,60			
CV timón						0,54	-0,42		
CV rotación rodilla						-0,48			
Extensión tobillo							0,89		
Distancia sacar cuerpo				0,49			0,52		
CV centro de gravedad eje Z		0,48					0,48		
CV brazo	0,59							0,63	
Célula de carga								0,57	
Extensión rodilla									0,85

CA: cinemática angular; PRRE: posición del regatista con respecto a la embarcación; RDE: rendimiento de la embarcación; MEB: manejo de la embarcación con los brazos; VN: variación en la navegación; RBE: rumbo de la embarcación; RETSC: respuesta a la escora mediante TSC; RE: respuesta a la escora; ER: extensión rodilla.

La Tabla 20 muestra como quedaron distribuidas las variables iniciales del análisis cinemático y de navegación tras realizar el ACP. Como se puede observar quedaron reducidas a 9 factores, tal como se muestran en la Figura 58.



Los factores fueron nombrados en función de la naturaleza de las variables que los forman. Como podemos observar, parece que de todas las variables que

intervienen en la TSC, el factor que más peso tiene en la técnica (explica mayor varianza de la técnica) es la cinemática angular (23,67%), seguida de la posición del regatista con respecto a la embarcación (15,04%), el rendimiento de la embarcación (10,75%), el manejo de la embarcación con los brazos (8,85%), la variación en la navegación (7,02%), el rumbo de la embarcación (5,5%), la respuesta a la escora mediante la TSC (4,99%), la respuesta a la escora (3,68%) y, por último, la extensión de rodilla (3,14%).

5.4. ESTUDIO CORRELACIONAL

Con el objetivo de intentar describir cuál de los factores de la TSC está más relacionado con el rendimiento, estimado con el VMG, se realizaron diversas correlaciones para tal fin. En este apartado se muestran distintos estudios correlacionales: correlación entre VMG y factores principales, y correlación entre VMG, valores antropométricos, extensibilidad y curvaturas del raquis.

5.4.1. Correlación entre VMG y factores principales

Al correlacionar la variable VMG con los nueve factores principales descritos en el apartado anterior, se encontró una correlación positiva con el factor nº 3 “Rendimiento de la embarcación” ($r = 0,707$; $p \leq 0,000$), y una correlación negativa con el factor nº 6 “Rumbo de la embarcación” ($r = -0,461$; $p \leq 0,002$), siendo las correlaciones con el resto de factores no significativas.

Para conocer con que variables correlaciona directamente el VMG dentro de cada factor se llevaron a cabo otros dos estudios correlacionales en los que se estudió la correlación entre el VMG y las variables que componen cada uno de los factores (ver Tabla 21).

Tabla 21.

Correlaciones significativas entre VMG y las variables componentes de los factores 3 y 6.

Factor 3 “Rendimiento de la embarcación”	Factor 6 “Rumbo de la embarcación”
VMG x MMSC: ,650**	VE x CVT: ,358**
ESC x MMSC: ,633**	ARVx CVT: ,565**
VMG x EE: -,382**	ARV x DTE: ,550**
Esim x MMSC: -,639**	ARV x VE: ,658**
Esim x ESC: -,633**	VMG x ARV: -,683**
EE x ESC: -,341**	VMG x CVT: -,450**
EE x MMSC: -,334**	DTE x VE: ,635**

ARV: ángulo con respecto al viento; CVT: coeficiente de variación del timón; DTE: desplazamiento total de la embarcación; EE: escora embarcación; ESC: esfuerzo sacando cuerpo; Esim: escora simulador; MMSC: máximo momento de sacar cuerpo; VE: velocidad embarcación; VMG: Velocity Made Good.

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

5.4.1.1. Correlaciones entre VMG y Factor 3: Rendimiento de la embarcación

En el primero de ellos se estudió la correlación entre el VMG y las variables componentes del factor 3: “Rendimiento de la embarcación”. En este análisis se encontró una correlación negativa entre **VMG y Escora del simulador** ($r = -0,382$; $p \leq 0,003$) y una correlación positiva entre **VMG y Máximo momento de sacar cuerpo** ($r = 0,650$; $p \leq 0,000$). Por otro lado, también se encontraron correlaciones positivas entre las variables **Esfuerzo sacando cuerpo y Máximo momento de sacar cuerpo** ($r = 0,633$; $p \leq 0,000$); y correlaciones negativas entre las variables **Escora del simulador y Esfuerzo sacando cuerpo** ($r = -0,663$; $p \leq 0,000$), **Escora del**

simulador y Máximo momento de sacar cuerpo ($r = -0,639; p \leq 0,000$), **Escora embarcación y Esfuerzo sacando cuerpo** ($r = -0,341; p \leq 0,009$), y **Escora embarcación y Máximo momento de sacar cuerpo** ($r = -0,334; p \leq 0,011$).

5.4.1.2. Correlaciones entre VMG y Factor 6: Rumbo de la embarcación

En segundo lugar, se estudió las correlaciones entre el VMG y las variables constituyentes del factor nº 6: "Rumbo de la embarcación". A través de este análisis, se encontraron correlaciones negativas entre el VMG y las variables **Ángulo con respecto al viento** ($r = -0,683; p \leq 0,000$) y **Coefficiente de variación del timón** ($r = -0,450; p \leq 0,000$). Por otra parte, dentro del factor, se encontraron correlaciones positivas entre las variables **Ángulo con respecto al viento y Desplazamiento total de la embarcación** ($r = 0,550; p \leq 0,000$), **Ángulo con respecto al viento y Velocidad de la embarcación** ($r = 0,658; p \leq 0,000$), **Ángulo con respecto al viento y Coeficiente de variación del timón** ($r = 0,565; p \leq 0,000$), **Desplazamiento total de la embarcación y Velocidad de la embarcación** ($r = 0,635; p \leq 0,000$), y **Velocidad de la embarcación y Coeficiente de variación del timón** ($r = 0,358; p \leq 0,006$).

5.4.2. Correlación entre VMG, variables antropométricas, valores de extensibilidad y curvaturas raquídeas

Con el fin de conocer si los valores antropométricos, de extensibilidad y de curvaturas raquídeas de los regatistas correlacionan con el rendimiento de la embarcación se llevó a cabo un análisis correlacional entre la variable VMG, como variable que define el rendimiento, y las variables antropométricas, de extensibilidad y de curvaturas raquídeas.

En cuanto a las variables antropométricas, se correlacionaron con el VMG aquellas que se consideró podían influir en la navegación (peso, talla, envergadura, IMC, sumatorio 6 pliegues y sumatorio 8 pliegues). Además, se incluyeron otras variables relacionadas con los valores antropométricos como son la Distancia de sacar cuerpo y el Máximo momento de sacar cuerpo, ya que dentro de las ecuaciones utilizadas para calcularlas se incluye el peso de los regatistas. Por último, se añadieron el factor 3 "*Rendimiento de la embarcación*" y 6 "*Rumbo de la embarcación*", obtenidos a través del análisis factorial, con el objetivo

de comprobar si las variables antropométricas influían en el resultado de los mismos.

Por parte de las variables de extensibilidad, se correlacionó el VMG y los test de flexibilidad para isquiosurales y Psoas Iliaco. Este estudio se llevó a cabo con el objetivo de conocer si la extensibilidad de los sujetos influye de alguna manera en el rendimiento de la embarcación.

Por último, se realizó un análisis correlacional entre el VMG y los datos obtenidos de los test de valoración de las curvaturas raquídeas, los cuales incluyen las variables de inclinación pélvica, curvatura lumbar y curvatura torácica para todos los test en los que se valoraron las mismas.

Todas las correlaciones obtenidas se muestran a continuación en la Tabla 22.

Tabla 22.

Correlaciones entre VMG, variables antropométricas, de extensibilidad y curvaturas raquídeas

VMG y variables antropométricas	VMG y valores de extensibilidad	VMG y curvaturas raquídeas
MMSC x Peso: ,630**	VMG x EPR PD: ,490**	VMG x LUM test dedos-planta: ,280**
MMSC x Talla: ,550**		VMG x INC extensión máxima en bipedestación: ,359**
MMSC x Envergadura: ,570**		
Factor 3 x Peso: ,490**		
VMG x Sumatorio 6 pliegues: -,340*		VMG x TOR bipedestación: -,398**
VMG x Sumatorio 8 pliegues: -,340**		VMG x INC bipedestación autocorregida: -,327*
DSC x IMC: -,420**		
DSC x Sumatorio 6 pliegues: -,570**		
DSC x Sumatorio 8 pliegues: -,590**		

VMG: Velocity Made Good; MMSC: máximo momento sacar cuerpo; EPR PD: test de elevación pierna recta pasivo derecha; LUM: curvatura lumbar; TOR: curvatura torácica; INC: inclinación pélvica; DSC: distancia sacar cuerpo. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$.

5.4.2.1. Correlaciones entre VMG y variables antropométricas

Como se puede observar en la Tabla 22, el VMG sólo muestra correlaciones con el factor 3 y 6, como ya habíamos visto en el apartado anterior, aunque cabe destacar que también muestra correlaciones negativas con los sumatorios de 6 y 8 pliegues, aunque la correlación de Pearson es solo de $r = -0,34$ en ambos casos.

Por su parte, la **Distancia de sacar cuerpo** mostró correlaciones negativas con el **IMC** ($r = -0,42$; $p \leq 0,000$), el **sumatorio de 6 pliegues** ($r = -0,57$; $p \leq 0,000$) y el **sumatorio de 8 pliegues** ($r = -0,59$; $p \leq 0,000$). Mientras que el **Máximo momento de sacar cuerpo** presentó correlaciones positivas con el peso ($r = 0,63$; $p \leq 0,000$), la talla ($r = 0,55$; $p \leq 0,000$) y la envergadura ($r = 0,57$; $p \leq 0,000$).

En cuanto a los factores, sólo el **factor 3** presenta una correlación positiva con el **peso** ($r = 0,49$; $p \leq 0,000$), siendo el resto de correlaciones encontradas muy bajas.

5.4.2.2. Correlaciones entre VMG y valores de extensibilidad

El **VMG** solo mostró una correlación negativa, estadísticamente significativa, con el **EPR pasivo de la pierna derecha** ($r = -0,49$; $p \leq 0,002$) indicando que, una mayor extensibilidad isquiosural se correlaciona con un menor rendimiento medido mediante VMG. No presenta correlaciones con el resto de los valores de extensibilidad.

5.4.2.3. Correlaciones entre VMG y curvaturas raquídeas

Se encontraron correlaciones positivas entre el **VMG** y la **curvatura lumbar** en el **test dedos-planta** ($r = 0,280$; $p \leq 0,035$), así como con la **inclinación pélvica** en el **test de extensión máxima en sedestación** ($r = 0,359$; $p \leq 0,006$). También se encontraron correlaciones negativas entre **VMG** y las variables **inclinación pélvica** en el **test de máxima flexión en sedestación** ($r = -0,304$; $p \leq 0,021$), **curvatura torácica en bipedestación** ($r = -0,398$; $p \leq 0,002$) e **inclinación pélvica en bipedestación autocorregida** ($r = -0,327$; $p \leq 0,013$). Sin embargo, el coeficiente de correlación para todas estas relaciones es muy bajo, siendo el mayor $r = -0,398$.

VI - DISCUSIÓN

VI - DISCUSIÓN

Este apartado tiene como objetivo considerar los resultados obtenidos a través, tanto del análisis cinemático y cinético de la TSC en navegación simulada en ambas bandas, como de los valores antropométricos, de flexibilidad y de curvaturas del raquis de los regatistas, y contrastarlos con las investigaciones previas realizadas en los ámbitos estudiados, tanto en el deporte de la vela como en otros contextos deportivos.

6.1. ANTROPOMETRÍA, CURVATURAS RAQUÍDEAS Y EXTENSIBILIDAD

Cabe resaltar la importancia de conocer las características de un deportista, tanto antropométricas como de flexibilidad, para saber si se enmarca dentro de las referencias que exige su modalidad deportiva, en función del tipo de disciplina y la intensidad de esta.

“Un patrón de referencia es imprescindible en el manejo de la práctica diaria tanto del médico deportivo, como del preparador físico, entrenador, dietista, y en general, del equipo multidisciplinar que controla a los deportistas” (Canda, 2012).

Sin embargo, no se ha encontrado un patrón existente de estas características para vela ligera, ya que son muchas las categorías que la integran, con diferentes exigencias cada una. Algunos autores (Callewart, 2013; Castagna, 2007; Cunningham, 2007; Felici, 1999) han llevado a cabo mediciones antropométricas en sus estudios, sin llegar a establecer un patrón que se pueda usar de referencia, ya que las realizaron en distintas modalidades de vela ligera, y en la mayoría de los casos se han limitado a medir peso y altura del sujeto.

En este apartado se van a discutir los resultados obtenidos con respecto a la antropometría, flexibilidad y curvaturas del raquis de la muestra de regatistas de *Laser 4.7*, con el fin de tratar de acercarnos a ese patrón que pueda servir de referencia a entrenadores y demás profesionales del mundo del deporte y, más en

concreto de la vela ligera, para saber si los datos de sus deportistas están dentro de este patrón o si pueden ser mejorados.

6.1.1. Antropometría

Uno de los objetivos de este trabajo fue describir las características antropométricas de los regatistas de clase *Laser 4.7* ya que, como se ha comentado a lo largo de este trabajo, no se conoce hasta el momento el perfil antropométrico de dichos deportistas. En esta línea, la mayoría de resultados obtenidos a través del análisis descriptivo de las **medidas base** de la muestra (peso, talla, envergadura) así como de sus pliegues, perímetros y diámetros, son meros descriptores del perfil antropométrico de los regatistas de clase *Laser 4.7* de la Región. de Murcia. Sin embargo, destaca entre ellos que la envergadura ($172,6 \pm 8,2$ cm) es mayor que la talla ($171 \pm 7,3$ cm), lo que conllevó a obtener una envergadura relativa de más de 1 de valor (1,01), siendo valores normales en torno a 0,8 para mujeres y a 1 para hombres (mujeres y hombre adultos) (Canda, 2012). Esto puede ser debido a que la práctica deportiva de la vela ligera, y más concretamente del *Laser 4.7*, conlleva una adaptación musculo-esquelética desarrollando la envergadura por encima de la talla, lo cual puede que se deba a una influencia en el rendimiento de esta modalidad (Canda, 2016). Trabajos como el de Ackland, Schreiner y Kerr (1997) ya mostraron que la envergadura es un predictor del rendimiento en otros deportes como el baloncesto, indicando que aquellos deportistas con mayor envergadura tienen mayor probabilidad de alcanzar el alto rendimiento deportivo; en nuestro caso estaría relacionado con la mejora en la navegación, pero este aspecto no ha sido correlacionado y estudiado en la presente Tesis Doctoral. Por su parte, tanto el peso medio de nuestra muestra ($60,2 \pm 8,2$ kg) como su altura ($171 \pm 7,3$ cm) están por debajo de las obtenidas por Callewaert et al. (2015) ($64,9 \pm 8,4$ kg, y $176 \pm 7,4$ cm, respectivamente) quienes midieron estas variables en regatistas de *Laser 4.7*. Esta diferencia es debida a que en el estudio de Callewaert et al. (2015) además de las medidas de los regatistas de *Láser 4.7* también se incluye en la media las medidas de regatistas de clase *Láser Radial* y *Europa*.

En cuanto a la descripción de la proporcionalidad (valores *phantom*), los valores normales para deportistas están por debajo de los valores Z (Canda, 2012), así sucede con los **pliegues cutáneos**, lo que nos está indicando que los regatistas tienen menor grasa subcutánea de la que les corresponde en función de su talla (Ross & Wilson, 1974). Estos resultados, teniendo en cuenta que nuestra muestra está formada por deportistas en activo, van en la línea de los obtenidos por Canda (2012) quien midió a la población deportista española obteniendo valores negativos para todos los pliegues tanto en hombres como mujeres deportistas. Esto puede ser debido a la práctica deportiva continuada de la muestra.

Lo mismo sucede con los **perímetros**, ya que todos los valores son negativos, excepto en los perímetros corregidos, los cuales tienen un valor positivo tanto en brazo corregido como en pierna corregida. Esto nos indica que el desarrollo muscular a nivel del brazo y de la pierna es mayor de lo que correspondería a la talla de los regatistas. Esto se puede deber a que la práctica de la navegación en *Laser 4.7* exige superar fuertes cargas, a nivel tanto de pierna como de brazo, lo que conlleva al desarrollo muscular de los mismos. Si analizamos las características de la TSC y la musculatura más implicada en la misma (los cuádriceps) (Callewart et al., 2013; Maïsetti, Boyas & Guével, 2006; Sekulic et al., 2006; Vangelakoudi et al., 2007; Vogiatzis, Spurway, Jennett, Wilson & Sinclair, 1996; Wee et al., 2010), tiene sentido que se de este desarrollo muscular, sin embargo, nada hay estudiado sobre la musculatura de los brazos, lo cual puede ser una interesante futura línea de investigación.

Por su parte, la proporcionalidad de los **diámetros** muestra dos valores interesantes. Tanto el diámetro del húmero como el del biestiloideo son mayores de lo que deberían tener los regatistas en función de su talla. Esto se puede deber a dos motivos principales. El primero de ellos es que la práctica deportiva de la navegación en *Laser 4.7* provoca cargas en estos huesos lo que acaba aumentando con el tiempo el diámetro de los mismos, lo cual tiene sentido ya que los regatistas deben mantener de forma isométrica una fuerza igual y en sentido opuesto a la ofrecida tanto por la escota como por el stick del timón, las cuales aumentan en función de la intensidad del viento. Esto va en línea de lo comentado en el párrafo anterior sobre el desarrollo muscular de los brazos y, además, por lo encontrado por Canda (2016) quien observó en gimnastas que sus

diámetros óseos se modificaban en función de los impactos característicos de la práctica deportiva, adaptándose a la misma; en esta misma línea otros muchos autores han encontrado adaptaciones óseas en deportistas en función de su disciplina deportiva, como el *running* (Brahm, Ström, Piehl-Aulin, Mallmin & Ljunghall, 1997), tenis (Calbet, Moysi, Dorado & Rodríguez, 1998) o el *voleyball* (Calbet, Díaz-Herrera & Rodríguez, 1999). El segundo motivo puede ser que los chicos/as con diámetros de húmero y biestiloideo menores hayan acabado abandonando la práctica de la vela por falta de rendimiento o por tener mayor prevalencia a lesiones. En cualquiera de los dos casos sería interesante desarrollar una futura línea de investigación al respecto.

En cuanto a las **variables derivadas** de las **medidas antropométricas**, cabe destacar que el **sumatorio de 6 pliegues** (74,3 mm), así como el de **8 pliegues** (95,2 mm), muestran valores que se aproximan a otros estudios llevados a cabo con jóvenes deportistas del mismo rango de edad que nuestra muestra (Carrasco, Martínez & Nadal, 2005; De Hoyo, Sañudo, París & De la Fuente, 2007), así como están bastante por encima de los valores obtenidos por Canda (2012) al analizar deportistas de élite. Estas diferencias con el estudio de Canda (2012) pueden deberse a que nuestros regatistas no se enmarcan como deportistas de élite, además de que están en edad de desarrollo, al igual que las muestras de los otros dos estudios (Carrasco, Martínez y Nadal, 2005; De Hoyo, Sañudo, París y De la Fuente, 2007). Por su parte, el **porcentaje de masa muscular** (46%) mostró un valor considerablemente alto, ya que, al compararlo con los datos obtenidos por Canda (2012) con deportistas de élite, comprobamos que los regatistas tienen el mismo porcentaje de masa muscular que la media de los deportistas de élite españoles masculinos (46%). Estos datos nos dicen que los regatistas de clase *Laser* 4.7 tienen un gran desarrollo muscular. Estos resultados podrían estar condicionados por el tipo de fórmula elegida para el cálculo de la variable (De Rose & Guimaraes, 1980), sin embargo, se escogió esta fórmula porque era la que menos diferencia mostraba al usarla por igual para hombres y mujeres. Por último, al analizar el somatotipo de los regatistas vemos como se clasifica en un somatotipo central donde prevalece el componente endomórfico. Este resultado está en consonancia con el porcentaje de masa muscular comentado anteriormente y con el desarrollo muscular de brazos y piernas de los deportistas

analizados. Este tipo de somatotipo va en sintonía con el del perfil de deportista (Canda, 2012) y se relaciona con las adaptaciones que lleva la práctica deportiva al sistema músculo-esquelético.

6.1.2. Curvaturas del raquis

Otro de los objetivos de estudio fue describir las curvaturas raquídeas de los regatistas de clase *Laser*. Para ello se midieron las curvaturas torácicas y lumbares de los regatistas, así como su inclinación pélvica en distintos test como la bipedestación asténica y corregida, y otros test relacionados con posiciones relativas a la navegación. A continuación, se van a discutir los resultados más relevantes obtenidos.

En primer lugar, los resultados derivados del test en **bipedestación asténica** nos mostraron que el perfil general de los regatistas se encuentra dentro de los valores de normalidad tanto para la curvatura torácica como lumbar, sin embargo, al analizarlos individualmente se obtuvieron resultados en los que el 20% de los regatistas mostraban hipercifosis y el 13,3% rectificaciones lumbares. Así mismo, al comparar estos valores con los obtenidos en el test de **bipedestación autocorregida**, se comprueba que dichas hipercifosis y rectificaciones lumbares desaparecen, confirmándonos que son alteraciones posturales, no encontrándose estructuradas en los sujetos (López-Miñarro, 2000; Muyor, 2010; Santonja, 1996), pudiendo producirse un mayor grado de corrección de las mismas.

En segundo lugar, con el test de **máxima extensión en bipedestación** observamos que los regatistas son capaces de flexionar hasta 15º la zona lumbar a la vez que realizan una retroversión pélvica de 32º. Estos datos nos muestran que los regatistas poseen una gran movilidad tanto del raquis como pélvica, pudiendo relacionarse con las características de la TSC (Putnam, 1979), ya que cuando el regatista se encuentra colgado traccionando con sus pies de las cinchas, con el miembro inferior estático, y necesita aumentar su momento de sacar cuerpo por

cualquier motivo (racha de viento, paso de baliza, final de una virada, etc.), la forma de alejar su CDG de la embarcación es incrementando la flexión lumbar, lo que puede ir acompañado de retroversiones pélvicas que, a la larga, le permitan tener esta gran movilidad a nivel lumbar y pélvico.

En cuanto al test de **sedestación relajada**, al igual que sucedió con el test en bipedestación asténica, la media de las curvaturas torácica y lumbar de los regatistas mostraron valores dentro de la normalidad, encontrando alteraciones en forma de morfotipos cifóticos leves para algunos sujetos (20%). Sin embargo, estas alteraciones tampoco se consideran estructuradas, ya que en la bipedestación autocorregida desaparecen (López-Miñarro, 2000; Muyor, 2010; Santonja, 1996), por lo que se consideran alteraciones posturales y no estructuradas. Para trabajar en la corrección de dichas alteraciones posturales sería conveniente desarrollar un programa de concienciación postural con trabajo de los grupos musculares implicados.

Por último, vamos a discutir los resultados obtenidos para los **test dedos-planta** y **dedos-suelo**. Debemos partir aclarando que las posturas adoptadas en ambos test están muy influidas por la musculatura isquiosural. Los resultados nos muestran como en ambos test los regatistas se quedan en retroversión pélvica ($5 \pm 15^\circ$ en retroversión para dedos-planta; $18 \pm 13^\circ$ en retroversión para dedos-suelo), cuando se deberían haber posicionado en anteversión pélvica para la realización de los mismos (Vaquero-Cristóbal, 2017). Esto nos está indicando que la musculatura isquiosural se encuentra acortada, dando lugar a estas retroversiones pélvicas (Cailliet, 1990; McGill, 2002). El hecho de que en el test dedos-suelo muestren bastante más retroversión que en el test dedos-planta se debe a la posición de partida del test, o el efecto de la gravedad sobre la distancia alcanzada en el mismo. Al respecto, en el test dedos-planta el regatista se sitúa en sedestación, mientras que el test dedos-suelo se realiza en bipedestación. En consecuencia, en el test dedos-suelo hay una gran influencia de la gravedad sobre la flexión intervertebral y el centro de gravedad del tórax se sitúa muy por delante del eje de flexión sagital de las articulaciones vertebrales lumbares, influyendo a su vez en el posicionamiento de la pelvis (Vaquero-Cristóbal, López-Miñarro, Alacid & Esparza-Ros, 2015).

Por otro lado, también se observa que la media de las curvaturas lumbares para ambos test se muestra en morfotipo cifótico moderado (66,6%); esto indica que la curvatura lumbar, de naturaleza lordótica, está adoptando posiciones de cifosis para compensar la falta de movilidad de la pelvis y, a su vez, está condicionado por la falta de extensibilidad de la musculatura isquiosural comentado previamente. Estos resultados se relacionan directamente con lo comentado por Vaquero-Cristóbal (2017), quien afirmó que para realizar una flexión de tronco se debe realizar una flexión lumbar y una rotación pélvica, la cual conlleva una inversión de la curvatura lumbar que, a su vez, termina en una cifosis lumbar. En esta misma línea, también Vaquero-Cristóbal (2017) afirmó que, en esta secuencia de palancas para realizar una flexión de tronco, en el caso de que el individuo presente una reducida flexibilidad isquiosural se produce un aumento de la flexión raquídea, aumentando así el riesgo de lesión al incrementarse el estrés en los elementos posteriores del raquis (Pastor, 2000; Santonja, 1996). Como consecuencia de esto, en posturas como la máxima flexión del tronco con rodillas extendidas, una de las posturas realizadas durante la TSC (Sekulic et al., 2006), puede haber individuos que, mostrando valores de normalidad en bipedestación, tengan en estas posiciones una curvatura cifótica en la zona lumbar o una curvatura torácica hipercifótica (Vaquero-Cristóbal, 2017), hablándose de actitud cifótica en la zona lumbar y cifosis torácica postural, respectivamente (Muyor, 2010; Santonja, 1996). A esto hay que añadir que el mantenimiento prolongado o la repetición sistemática de flexiones del tronco han sido propuestas como factores de riesgo para la aparición de algias en la zona lumbar (Dolan & Adams, 1998; Esola et al., 1996; Lengsfeld, Frank, Van Deursen & Griss, 2000) y de hernias discales (Sato, Kikuchi & Yonezawa, 1999; Wilke, Neef, Caimi, Hoogland & Claes, 1999). A raíz de este análisis, debemos retomar los estudios realizados por Allen y De Jong (2006), Moraes et al. (2002) y Legg et al. (1997) quienes afirmaron que la zona con más índice de lesiones en regatistas es la zona lumbar, aunque ninguno de ellos justificó las causas de las mismas pero que pueden estar relacionadas con los datos obtenidos en esta Tesis Doctoral. Por ello se considera interesante como futura línea de investigación esclarecer la relación entre dichas lesiones y los resultados obtenidos para las curvaturas del raquis de los regatistas.

6.1.3. Extensibilidad isquiosural y de Psoas-iliaco

En este apartado se van a discutir los resultados relevantes obtenidos para la extensibilidad de la musculatura isquiosural a través de los test EPR activo y pasivo, dedos-suelo y dedos-planta, además de la extensibilidad de Psoas iliaco medida con el test de Thomas adaptado.

En primer lugar, los test EPR mostraron dos valores distintos. El EPR pasivo mostró valores de normalidad, a pesar de estar próximos de los valores de cortedad, mientras que el EPR activo mostró cortedad de grado I. Esta diferencia se debe a la naturaleza de los test, ya que en el test EPR pasivo el regatista contaba con la ayuda del investigador para llegar a su máxima extensión isquiosural, mientras que en el test EPR activo el regatista trataba de llegar a la máxima extensión sin ayuda. Por lo tanto, de estos resultados conocemos que los regatistas presentan una cortedad isquiosural, acompañada de una retroversión pélvica y una mayor flexión externa de la curvatura lumbar en los test dedos-planta y dedos-suelo (Cailliet, 1990; McGill, 2002).

Sin embargo, al observar los resultados de extensibilidad obtenidos en los test dedos-suelo y dedos-planta, vemos que los regatistas se encuentran dentro de los valores de normalidad (cerca del acortamiento). Esta incongruencia entre los datos se debe a que en estos test no solamente influye la extensibilidad isquiosural, sino que también influye la concienciación pélvica. No obstante, el EPR activo nos indica que los regatistas sufren acortamiento; a pesar de que su flexibilidad en otros test esté dentro de los rangos de normalidad, los regatistas no son capaces de poner en práctica dicha diferencia de extensibilidad. Esto vendría explicado por la naturaleza de los test, como se ha comentado anteriormente, ya que el test donde los regatistas necesitan poner en práctica la extensibilidad de su musculatura isquiosural por ellos mismos (EPR activo) no llegan a rangos de normalidad, mostrando acortamiento, mientras que en el resto de test donde reciben ayuda externa o entra en juego la gravedad si llegan a esos valores de normalidad.

Por último, en cuanto a la extensibilidad de **Psoas iliaco**, los datos obtenidos a través del test de Thomas modificado nos muestran un acortamiento de Psoas

para los regatistas en ambas piernas. Al comparar estos resultados con otros estudios en los que se midió extensibilidad de Psoas mediante el mismo test (Esparza-Ros, Escobar-Badía & Vaquero-Cristóbal, 2015; Gutiérrez, 2000; Schache, Blanch & Murphy, 2000) corroboramos que los valores de Psoas para nuestros regatistas están por debajo del de deportistas de otras disciplinas. En esta línea, Gutierrez (2000) concluyó que la cortedad mostrada por los yudocas con los que llevó a cabo su investigación podría estar relacionada con el tipo de posiciones adoptadas por los deportistas durante la práctica deportiva. En nuestro caso puede que suceda algo parecido, ya que, debido a las características de la TSC, creemos que, al estar el miembro inferior fijo en contracción cuasiisométrica durante la TSC, el fémur actúa como punto fijo y todas las flexiones de cadera que el regatista realiza continuamente para ir ajustando su centro de gravedad en función de la escora del barco, son llevadas a cabo en gran parte por el musculo Psoas. Este hecho podría estar relacionado con las lesiones a nivel lumbar que hemos comentado anteriormente en relación a las curvaturas lumbares, ya que el músculo Psoas tiene tendencia a acortamientos y contracturas y, al acortarse o contraerse, podría favorecer la lordosis lumbar y la producción de un aplastamiento discal. Al igual que con las curvaturas lumbares y la extensibilidad isquiosural, sería interesante investigar si el musculo Psoas está relacionado con las numerosas lesiones a nivel lumbar que sufren los regatistas.

6.2. DIFERENCIAS EN LA NAVEGACIÓN EN FUNCIÓN DEL BORDO

En este apartado se van a discutir los resultados obtenidos en el estudio descriptivo de las variables cinemáticas, cinéticas y de navegación. Además, se discuten los resultados del estudio inferencial realizado para la navegación en función del bordo.

6.2.1. Cinemática angular miembro superior e inferior

Al analizar las variables de cinemática angular del miembro superior e inferior se encontraron valores diferentes en función del bordo al que estuviera navegando el regatista.

Vamos a comenzar analizando aquellas variables que mostraron valores mayores cuando el regatista navegaba amurado a **Estribor**, aunque las diferencias no fueron significativas. En primer lugar, se encontró mayor **flexión**, mayor **extensión**, mayor **rango de movimiento** y mayor **coeficiente de variación** para el **ángulo del tronco**; estos resultados nos indican que los regatistas hacen constantes ajustes con el tronco durante la navegación. Esto puede ser debido a que el regatista trata de adaptar continuamente el peso de su miembro superior a la escora de la embarcación, extendiéndose más cuando la escora es mayor y viceversa. El hecho de que hayan mostrado mayores valores cuando navegan a Estribor puede estar relacionado con lo comentado en el marco teórico sobre la lateralidad de los regatistas y las diferencias existentes cuando navegan amurados a un bordo u a otro, ya que cambian completamente la posición dentro de la embarcación. Además, si relacionamos estos resultados con los comentados en el apartado de curvaturas raquídeas y extensibilidad, podemos ver que los regatistas están haciendo tanto extensiones como flexiones de tronco constantemente, lo que estaría corroborando que existe un gran riesgo de lesión a nivel lumbar (Dolan & Adams, 1998; Esola et al., 1996; Lengsfeld, Frank, Van Deursen & Griss, 2000; Sato, Kikuchi & Yonezawa, 1999; Wilke, Neef, Caimi, Hoogland & Claes, 1999).

Por otro lado, se encontró mayor **flexión**, mayor **extensión**, y mayor **coeficiente de variación del ángulo del brazo**, también en el bordo de Estribor; en ambos bordos el brazo medido fue el brazo que dirigía el timón, por lo que estos resultados pueden ir en la línea de los comentados en el párrafo anterior, y que el regatista acompañe los ajustes de tronco con ajustes a nivel del brazo del timón, con el fin de mantener una postura equilibrada y no variar la dirección de la embarcación, acompañando las extensiones de tronco con extensiones de brazo y viceversa. Estos resultados podrían tener relación con los comentados respecto a los diámetros óseos encontrados en los regatistas y que, estos continuos ajustes, acaben generando cargas a nivel de muñeca y brazo, de ahí que sus diámetros de húmero y biestiloideo acaben siendo mayores de lo que deberían en función de la talla de los regatistas.

Otra variable con mayores valores para el bordo de Estribor fue el **coeficiente de variación** de la **rotación del hombro**, lo cual puede deberse a los

ajustes de timón realizados por el regatista en máxima extensión haciendo uso del *stick*. Por último, **la extensión del tobillo** también ha mostrado mayores valores en Estribor, este resultado va unido al de los valores del tronco y el brazo, ya que una mayor extensión del tobillo permite al regatista mantener una posición más extendida, alejando su CG del CG de la embarcación y, por tanto, aumentando el par adrizante. Estos resultados parecen lógicos debido a las características de la TSC (De Vito, Di Filippo, Felici & Marchetti, 1993; Sekulic, Medved, Rausavljevi & Medved, 2006) y las distintas posiciones que el regatista puede adoptar durante la realización de la misma.

En cuanto al bordo de Babor, se han encontrado una **mayor velocidad del tronco**, la cual, teniendo en cuenta los resultados del bordo de Estribor, nos muestra que los regatistas llevan a cabo menores ajustes del tronco, pero a mayor velocidad, pudiendo entender así que hacen ajustes más bruscos y ante situaciones de escora más extremas; esto podría significar que hay una menor anticipación por parte de los regatistas y, en consecuencia, menor adaptabilidad a las condiciones de navegación.

Por otro lado, aunque las diferencias no son significativas, se ha encontrado una mayor **extensión**, mayor **rango de movimiento** y mayor **coeficiente de variación** para el **ángulo de la rodilla**, lo cual nos muestra que cuando navegan amurados a Babor los regatistas realizan mayores ajustes de posición usando la articulación de la rodilla, en contraposición con el bordo de Estribor en el cual los realizan con el tronco. Por último, también se ha encontrado un mayor **rango de movimiento** y un mayor **coeficiente de variación** para la articulación del **tobillo sagital**; estos datos están ligados a los que acabamos de comentar sobre la articulación de la rodilla, ya que los ajustes que realiza el sujeto son llevados a cabo al mismo tiempo con tobillo y rodilla, es decir, cuando flexiona rodilla con el fin de acercar el CG a la embarcación también necesita flexionar el tobillo para ayudarse de la cincha a llegar a esa posición; por el contrario, cuando quiere alejar el CG de la embarcación, extiende tanto tobillo como rodilla.

Además, también se han encontrado variables que no varían de un bordo a otro. Este ha sido el caso del **ángulo** que forma el regatista **con respecto al eje longitudinal de la embarcación** y de su **coeficiente de variación**, los cuales

permanecen prácticamente iguales a ambos bordos. Estos datos nos confirman que el regatista mantiene su posición, en cuanto a esta variable se refiere, independientemente del bordo al que esté navegando, por lo que no afecta a la navegación en situación simulada. Consideramos que estos datos están directamente relacionados con una de las limitaciones de este estudio y es que, al realizarlo en simulador, una de las variables que se pierde con respecto a la navegación real es el balanceo proa-popa de la embarcación. Cuando un regatista navega en condiciones reales, además de los ajustes para contrarrestar la escora de la embarcación, también realiza ajuste con su peso proa-popa para ayudar a la embarcación a pasar las olas.

Para finalizar, todos los movimientos registrados tanto en el miembro superior como en el miembro inferior, corroboran a Spurway (2007) quien catalogó la TSC como una técnica cuasi-isométrica, ya que hay momentos en los que el regatista mantiene posiciones isométricas, pero, a su vez, están en constante movimiento para realizar ajustes con su CDG o en el manejo de la embarcación.

Resumiendo, los resultados muestran como los regatistas hacen ajustes de posición durante la navegación, siendo de distinta naturaleza en función del bordo al que se encuentren navegando. Cuando navegan amurados a Estribor, los ajustes realizados se centran en el miembro superior y más concretamente en el tronco, brazo y hombro; mientras que cuando navegan amurados a Babor, el miembro superior se mantiene más rígido, mientras que es con el miembro inferior, especialmente con la articulación de la rodilla y el tobillo, con el que el regatista intenta hacer los ajustes de posición correspondientes.

Estos resultados podrían ir en la línea de Vagenas y Hoshikazi (1991) quienes demostraron que existen relaciones entre la lateralidad, las asimetrías de las articulaciones (distintos rangos de movimiento para ambos lados) y las asimetrías de fuerza (pico isocinético en la flexo-extensión) entre el miembro dominante y el contra-lateral en algunos deportes, pudiendo atribuirse a factores fisiológicos (diferencias en la adaptación neuromuscular, activación de unidades motoras y distribución de las fibras rápidas y lentas), por lo que la dominancia podría entenderse como una particularidad muy asociada a la tarea en lugar de

un fenómeno general para una extremidad completa. En nuestro caso, dependiendo de en qué rumbo esté navegando el regatista y qué extremidad tenga que usar, y para qué función, se encontrará más cómodo y realizará mejor la acción motora, la técnica de navegación o la acción correspondiente, por lo que podemos confirmar que **su lateralidad preferente va a afectar a la forma de navegar en función del bordo de navegación**. Además, se han registrado movimientos en el tronco de los regatistas durante la navegación que podrían justificar que las lesiones más comunes en vela ligera se den a nivel lumbar (Allen & De Jong, 2006; Moraes et al., 2002; Legg et al., 1997). Esto podría estar relacionado con acciones compensatorias llevadas a cabo por los regatistas, es decir, observando que la técnica de navegación varía de un bordo a otro, pero no lo hace el rendimiento, estos cambios en la técnica podrían ser debidos a acciones compensatorias llevadas a cabo para mantener el rendimiento de un bordo a otro. Dichas acciones compensatorias podrían estar relacionadas con futuras lesiones, más aún si están se llevasen a cabo debido a la aparición de la fatiga. Sin embargo, esta Tesis Doctoral no ha llegado a indagar en este aspecto, por lo que podría ser interesante una futura línea de investigación.

6.2.2. Centro de gravedad (CDG) del sujeto

Mackie (2003) estableció que el CDG del sujeto es uno de los factores determinantes del rendimiento en el rumbo de ceñida, condicionando el momento de sacar cuerpo. Según este estudio, a mayor lejanía del CDG del sujeto del eje central de la embarcación habrá mayor momento de sacar cuerpo y, por consiguiente, mayor velocidad de la embarcación. Sin embargo, la metodología que se usó para medir el CDG fue mediante análisis de vídeo, considerando el CDG un punto arbitrario condicionado por la distancia de la articulación del tobillo, la rodilla, la cadera y el hombro del sujeto con respecto al eje central de la embarcación, estando más alejado cuanto mayor distancia hubiera. Para esta Tesis Doctoral se ha tratado de mejorar esta metodología utilizando el método simplificado para el cálculo del centro de gravedad por segmentos de forma indirecta (Gutierrez, 1998), utilizando el sistema de V120: TRIO de análisis cinemático, calculando de esta forma el CDG del sujeto de forma dinámica y continua para los ejes X, Y, Z.

Al analizar el coeficiente de variación del CDG de los regatistas en los ejes X (medio-lateral), Y (vertical), Z (antero-posterior), tanto a Estribor como a Babor, encontramos que, aunque las diferencias no son significativas, para el eje X (medio-lateral) el **coeficiente de variación** es mayor cuando navegan amurados a Babor, mientras que para el eje Y (vertical) es mayor cuando lo hacen amurados a Estribor. Por su parte, para el eje Z (antero-posterior) el coeficiente de variación es idéntico a un bordo como al otro.

Estos datos están directamente relacionados con lo visto en el apartado anterior sobre cinemática del miembro superior e inferior, ya que la mayor extensión de tobillo y rodilla mostrada por los regatistas cuando navegaban a Babor se traduce en que alejan más el CDG del centro de la embarcación más que cuando navegan amurados a Estribor. Por su parte, la mayor cantidad de movimientos de tronco mostrada cuando navegaban a Estribor conlleva a que, aunque naveguen con el CDG más cerca de la embarcación, consiguen bajarlo más en el eje Y (vertical).

Basándonos en el estudio de Mackie (2003), aunque nuestros datos se encuentran en la misma línea, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre bordos encontrándose que nuestros sujetos obtienen mayor rendimiento en la TSC cuando navegan amurados a Babor, ya que el CDG en el eje medio-lateral se aleja más del centro de la embarcación que cuando navegan amurados a Estribor, no teniendo estudios previos con los que comparar los resultados obtenidos para el eje vertical.

En resumen, cuando los regatistas navegan amurados a Estribor llevan a cabo más ajustes de posición con el miembro superior, el CDG del sujeto baja más en el eje Y (vertical); mientras que cuando navegan amurados a Babor, hacen más ajustes de posición con el miembro inferior, el CDG del sujeto se aleja más del centro de la embarcación en el eje X (medio-lateral).

6.2.3. Momento de sacar cuerpo (*Hiking Moment*)

El concepto del Momento de Sacar Cuerpo (MSC) fue propuesto por primera vez por Mackie (2003), el cual fue considerado como aspecto clave a la

hora de determinar el rendimiento del regatista en el uso de la TSC, equivaliendo un mayor MSC a un mayor rendimiento de la embarcación, y calculándose multiplicando el peso del sujeto (P) por la distancia de sacar cuerpo (DSC), siendo ésta última la distancia entre el CDG del sujeto y el CDG de la embarcación. Uno de los fallos metodológicos de este cálculo es que el CDG de la embarcación se suponía en el centro de la embarcación en todo momento, mientras que éste se va desplazando en función de la escora. Schütz et al. (2011) mejoraron esta metodología consiguiendo calcular el CDG de la embarcación en función de la posición en la que se encontraba la misma, consiguiendo así un cálculo más exacto del MSC en el momento de la medición. Sin embargo, en ambas metodologías el MSC se midió de forma puntual.

Pues bien, a través del estudio cinemático llevado a cabo en éste trabajo creemos que se ha conseguido mejorar la metodología para el cálculo del MSC, ya que además de medir el CDG de la embarcación en función de la posición en la que se encuentre, tanto éste CDG como el CDG del sujeto han sido medidos de forma ininterrumpida a lo largo del test de navegación llevado a cabo por los regatistas, por lo que los resultados obtenidos son consecuencia del gesto técnico completo a lo largo del test y no de un momento concreto. Además del cálculo de la máxima distancia de sacar cuerpo (DSC) y del máximo momento de sacar cuerpo (MMSC), este estudio ha contado con otra variable relacionada con el *hiking moment* proporcionada por el software del simulador a vela utilizado: el esfuerzo sacando cuerpo (ESC). Esta variable representa la fuerza aplicada por el regatista en contra de la escora producida por el brazo hidráulico del simulador.

Al analizar los datos obtenidos se observa que, a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas, tanto la **distancia de sacar cuerpo** como el **máximo momento de sacar cuerpo** muestran valores más altos cuando los regatistas navegan amurados al bordo de Estribor. Siguiendo la línea de los estudios de Mackie (2003) y Schütz et al. (2011) estos datos nos confirman que los regatistas obtienen mayor rendimiento al utilizar la TSC cuando navegan amurados a Estribor. Por su parte, el **esfuerzo sacando cuerpo** es mayor cuando navegan amurados a Babor, esto nos dice que los regatistas aplican una mayor fuerza sobre la banda de la embarcación cuando navegan amurados a Babor. Al relacionar estos datos con los analizados en apartados anteriores sobre la posición

del regatista durante la navegación y el desplazamiento de su CDG, podemos concluir que, cuando los regatistas navegan con una extensión mayor de tobillo y rodilla consiguen alejar más su CDG de la embarcación, sin embargo, de esta manera les supone un esfuerzo mayor contrarrestar la escora de la embarcación, lo que, a la larga, puede afectar al rendimiento si se traduce en cansancio. Por su parte, cuando los regatistas navegan usando más el tronco como elemento regulador de la posición al usar la TSC, consiguen bajar su CDG más en el eje Y (vertical), lo que le aporta una mayor distancia de sacar cuerpo y un mayor momento de sacar cuerpo con, a priori, menor esfuerzo.

6.2.4. Variables de navegación

Algunas de las variables de navegación de las que vamos a hablar a continuación son estudiadas por primera vez en el ámbito de la investigación en vela, otras, como las variables de navegación aportadas por el simulador, ya han sido analizadas, pero en otros tipos de embarcación distintos al *Laser* (Manzanares, Segado & Menayo, 2012), y las restantes ya han sido investigadas en clase *Laser*, pero usando metodologías distintas a la que se ha usado para este trabajo (Mackie, 1999).

Vamos a comenzar con la **escora de la embarcación**. Varios han sido los autores que han afirmado que la escora de la embarcación condiciona el rendimiento de la misma (Blackburn & Hubinger, 1995; Castagna & Brisswalter, 2007; Sprada et al., 2007), sin embargo, ninguno de estos autores llevó a cabo un estudio que confirmara estas afirmaciones. Fue Mackie (1999) el primer autor, y el único encontrado hasta el momento, quien estudió el efecto de la escora de la embarcación en su rendimiento. En este estudio midió los ángulos de escora de varios tipos de embarcación, entre ellos el *Laser*, y a varias intensidades de viento, entre ellas 16 nudos, confirmando que el ángulo de escora medio en *Laser* navegando en ceñida a una intensidad de 16 nudos es de 11 ± 3 grados, obteniendo menor rendimiento aquellos regatistas que llevaban una angulación mayor, produciéndose una mayor deriva de la embarcación y, por tanto, alejándose más de su objetivo, la baliza de barlovento. Sin embargo, tampoco fue medido para ambos bordos, y la metodología utilizada para medir el ángulo de

escora fue utilizando grabaciones de navegación real usando el horizonte como eje de referencia. Los resultados de esta tesis, en los que se midió la escora de la embarcación de dos formas distintas (la **escora embarcación simulador** proporcionada por el software del simulador y la **escora embarcación** obtenida a través del análisis cinemático) ambas a 16 nudos de intensidad de viento, muestran resultados menores a los del estudio de Mackie (1999) siendo la máxima escora obtenida por los regatistas de $7,72 \pm 5,3$ grados, y el máximo ángulo de escora de $5,53 \pm 2,45$ grados. En cuanto a diferencias entre bordos, aunque no existen diferencias estadísticamente significativas, ambas variables muestran mayor escora cuando los regatistas navegaron amurados a Estribor. Estos resultados pueden deberse a la forma de sacar cuerpo del sujeto, que hemos comentado en los apartados anteriores. Según estos datos, el regatista navega más flexionado del miembro inferior (tobillo y rodilla) usando su tronco para mover su CDG en el espacio, llevando una escora mayor que cuando navega con mayor extensión del miembro inferior.

La siguiente variable es la **velocidad de la embarcación**. Hasta el momento sólo se ha encontrado un estudio que haya trabajado con esta variable (Manzanares, Segado & Menayo, 2012), los cuales la midieron en una acción puntual de la navegación, la salida de una regata, y para un tipo de embarcación distinta (Optimist) a la de nuestro estudio. Para esta Tesis se midió tanto la **velocidad media** de la embarcación como el **coeficiente de variación de la velocidad**, tanto a Estribor como a Babor. Los resultados muestran una mayor velocidad media y un mayor coeficiente de variación cuando los regatistas navegan amurados a Estribor, aunque no existen diferencias estadísticamente significativas. Esta mayor velocidad de la embarcación puede ser debida a dos causas: a una navegación con el barco menos escorado, la cual se podría descartar si nos basamos en los resultados de escora mostrados en el apartado anterior, o a una navegación más arribada, es decir, más alejada de la dirección del viento y, por tanto, también más alejada del objetivo, la baliza de barlovento. Por su parte, el mayor coeficiente de variación de la velocidad, puede ser causado por una mayor variación del rumbo de la embarcación, el cual vamos a analizar a continuación mediante el ángulo descrito por la embarcación con respecto a la dirección del viento, debido a una mayor variación del timón.

La **media** y el **coeficiente de variación del ángulo con respecto al viento**, muestran mayores valores cuando los regatistas navegan amurados a Estribor (aunque no existen diferencias estadísticamente significativas), es decir, los regatistas navegan más alejados de la baliza de Barlovento y con una dirección con más variaciones que cuando navegan amurados a Babor. No se han encontrado estudios que hayan medido esta variable hasta el momento. Esta navegación más alejada de Barlovento cuando los regatistas navegan amurados a Estribor está relacionada con la mayor velocidad que se ha mostrado en el apartado anterior, ya que cuando la embarcación se aleja de la dirección del viento aumenta su velocidad, no estando relacionado con un mayor rendimiento, ya que el regatista tiene que buscar el equilibrio entre la máxima velocidad posible de la embarcación y un rumbo con respecto al viento que le permita acercarse lo suficiente al objetivo (baliza de Barlovento), siendo este “equilibrio” medido mediante el VMG que vamos a analizar en el siguiente apartado. Por otro lado, estos resultados también pueden estar relacionados con los datos del estudio de Mackie (1999), el cual afirmaba que los regatistas que llevaban mayor ángulo de escora producían mayor deriva (se alejaban más de la baliza de Barlovento). En nuestro caso, los regatistas llevan mayor escora cuando navegan amurados a Estribor, a la vez que llevan mayor ángulo con respecto a la dirección del viento ($57,10 \pm 5,37$ a Estribor; $55,34 \pm 3,94$ a Babor), confirmando así los resultados de Mackie (1999).

En cuanto al **VMG** (velocity made good), los regatistas obtuvieron prácticamente el mismo VMG en ambos bordos (3,35 a Estribor; 3,45 a Babor). Aunque no se han encontrado estudios que analicen el VMG en vela ligera, como se ha explicado en el apartado referente al VMG en el marco teórico, el VMG hace referencia a un equilibrio en el rumbo de navegación que permita al regatista alcanzar la máxima velocidad posible a la vez que se acerca lo máximo posible al objetivo (baliza de Barlovento). El hecho de que el VMG haya sido algo mayor cuando navegaban a Babor, aunque las diferencias no fueron significativas, puede tener dos interpretaciones distintas. La primera de ellas sería que este mayor VMG en el bordo de Babor es debido a la menor escora mostrada por los regatistas en este mismo bordo, la cual permite que la embarcación no derive, acercándose más al objetivo que cuando navegan amurados a Estribor con una

mayor escora, mayor deriva y, por tanto, menor VMG. La segunda está relacionada con la forma de sacar cuerpo por parte del regatista que hemos analizado en apartados anteriores, la cual conlleva una mayor extensión de tobillo y rodilla para poder alejar más su CDG del de la embarcación y de este modo obtener la menor escora y más VMG que hemos comentado en la anterior interpretación; sin embargo, hemos visto como esta posición requería un mayor esfuerzo sacando cuerpo y, además, va a exigir al regatista mantener una postura isométrica durante más tiempo, lo que va a conllevar a un mayor gasto energético que, a la larga, podrá traducirse en una reducción del rendimiento.

Otra de las variables importantes de navegación es el **coeficiente de variación del ángulo del timón**, la cual ha mostrado valores ligeramente mayores cuando los regatistas navegaban amurados a Estribor, sin existir diferencias estadísticamente significativas. Teniendo en cuenta que el test de navegación se llevó a cabo en condiciones estables, es decir, sin olas, sin corrientes y sin rachas de viento que pudieran suponer ajustes en el rumbo de navegación por parte del regatista, éste mayor coeficiente de variación del ángulo del timón puede estar relacionado con la mayor escora y mayor velocidad mostrada por los regatistas cuando navegan a Estribor, haciendo estas condiciones de navegación que sea más difícil para el regatista mantener un rumbo de navegación estable, el cual se ve representado en el mayor coeficiente de variación del ángulo de la embarcación con respecto al viento, que se ha comentado con anterioridad, dando lugar a una mayor deriva, y un menor VMG. Sin embargo, cabe destacar que esta situación se acerca más a las condiciones reales de navegación donde el regatista normalmente tiene un comportamiento más exploratorio y dinámico que estático (Manzanares, 2013).

Por otro lado, tenemos el **desplazamiento máximo de la embarcación**, está variable también ha mostrado mayores valores cuando los regatistas navegaban amurados a Estribor. En la línea de la máxima velocidad de la embarcación registrada por los regatistas cuando navegan a Estribor, un valor mayor del desplazamiento de la embarcación no garantiza un mayor rendimiento, ya que éste mayor desplazamiento no tiene por qué ser en el ángulo óptimo que más acerca al objetivo, sino que es debido a dicha mayor velocidad que, como se ha comentado en apartados anteriores, es consecuencia de una navegación más

arribada (más alejada del ángulo óptimo), con mayor escora, mayor variabilidad del rumbo y menor VMG.

Por último, los valores obtenidos a través de la **célula de carga** no muestran diferencias estadísticamente significativas en función del bordo de navegación. Estos resultados nos dicen que los regatistas no cambian la forma de ejercer presión con sus pies sobre la cincha, ya naveguen amurados a Babor o Estribor, por lo que no es un factor que afecte a la TSC.

Resumiendo, la mayoría de las diferencias no son estadísticamente significativas, los regatistas mostraron mayores valores de escora, velocidad, ángulo con respecto a la dirección del viento, coeficiente de variación del timón y desplazamiento total de la embarcación cuando navegaban amurados a Estribor, todos ellos debido a una navegación más arribada (más alejada de la dirección del viento), menos estable (mayor velocidad que produce mayor variabilidad del timón y mayor variabilidad del rumbo de navegación) y con una mayor escora (mayor deriva), la cual acaba reflejándose en un valor de VMG algo menor que cuando navegaron amurados a Babor. El hecho de que no se aprecie diferencias en el rendimiento siendo la navegación distinta en función del bordo al que se navega puede estar relacionado con la realización de estrategias de compensación por parte de los regatistas que podrían estar relacionadas con lesiones, como se ha comentado en el apartado anterior.

6.3. FACTORES DE RENDIMIENTO

Como hemos comentado en el apartado de resultados, se llevó a cabo un análisis factorial de variables principales como técnica estadística de reducción del número de variables, obteniendo una serie de factores principales independientes entre sí, resultado de una combinación lineal de las variables originales. La interpretación de dichos factores ha sido llevada a cabo por el equipo de investigación que ha participado en esta Tesis Doctoral (autor principal, directores y expertos colaboradores) a través de la observación de la relación de los factores con las variables principales y del estudio tanto de la magnitud como del signo de las cargas factoriales.

Otros estudios en Ciencias del Deporte han utilizado esta herramienta estadística de reducción de datos con anterioridad (Balaguer, Castillo, Duda & Tomás, 2009; Balaguer, Guivernau, Duda & Crespo, 1997; Cervelló, Escartí & Balagué, 1999; Rodríguez, Izquierdo, Ruiz y Mendoza, 2008). En cualquiera de los casos, esta herramienta se utiliza ante estudios con muchas variables, donde no hay un modelo teórico a priori que permita identificar las variables, con el objetivo de reducirlas perdiendo la mínima información posible.

6.3.1. Factores

Como se ha comentado en el apartado de resultados, los factores obtenidos a través del ACP fueron los siguientes: 1) Cinemática angular (23,67%); 2) Posición del regatista con respecto a la embarcación (15,04%); 3) Rendimiento de la embarcación (10,75%); 4) Manejo de la embarcación con los brazos (8,85%); 5) Variación en la navegación (7,02%); 6) Rumbo de la embarcación (5,5%); 7) Respuesta a la escora mediante TSC (4,99%); 8) Respuesta a la escora (3,68%); y 9) Extensión rodilla (3,14%). El nombre asignado a cada factor se escogió a través del análisis de las variables que los formaban (ver Tabla 19). Estos resultados nos muestran que peso tiene cada uno de los factores a la hora de describir la TSC.

Según los datos obtenidos, el factor con más peso a la hora de explicar la TSC es el factor 1 “Cinemática angular” (23,67%). Este factor enmarca variables relacionadas con la posición (angulación y CV) que adopta el regatista a la hora de realizar la TSC, tanto de extremidades del miembro superior como del inferior. Parece coherente que este factor sea el que más peso tiene a la hora de explicar la TSC, ya que un factor representativo de la misma es que el regatista vaya posicionado más o menos extendido a la hora de sacar cuerpo (Sekulic et al., 2006).

En segundo lugar, está el factor 2 “Posición del regatista con respecto a la embarcación” (15,04 %), el cual agrupa variables relacionadas con el desplazamiento del CDG del regatista y la flexo-extensión de su tronco. Estas variables hacen referencia a la respuesta que da el sujeto al estímulo presentado por la escora de la embarcación, alejando o acercando su CDG al de la embarcación mediante extensiones o flexiones de tronco respectivamente, por lo

que también parece claro que sea uno de los que más peso tiene a la hora de explicar dicha técnica ya que, cuando un regatista aplica la TSC, es con el objetivo de mantener la posición lo más horizontal posible.

El tercer factor con más peso es el factor “Rendimiento de la embarcación” (10,75 %), el cual abarca variables relacionadas con la escora de la embarcación, el VMG de la misma y el *hiking* del regatista. Este factor es uno de los más importantes a nivel de rendimiento, ya que la escora y el VMG son dos de las variables más importantes a tener en cuenta a la hora del rendimiento de la embarcación.

El cuarto factor con más importancia es el “Manejo de la embarcación con los brazos” (8,85 %) el cual implica variables relacionadas con el manejo del timón, las cuales tienen gran importancia a la hora de mantener una dirección de la embarcación óptima y, por tanto, un buen rendimiento a la vez que se lleva a cabo la TSC.

El quinto factor “Variación en la navegación” (7,02 %) incluye variables relacionadas con la variación de la velocidad, el rumbo y el CDG del sujeto durante la navegación, las cuales son importantes a la hora de llevar un rumbo de navegación constante o, por el contrario, un rumbo variable en función de las condiciones de navegación.

El sexto factor “Rumbo de la embarcación” (5,50%) implica variables relacionadas con la dirección, velocidad y rendimiento de la embarcación, las cuales están relacionadas con el cálculo del VMG y, por tanto, directamente con el rendimiento.

El séptimo factor “Respuesta a la escora mediante la TSC” (4,99%) hace referencia a variables relacionadas con la capacidad del sujeto de reaccionar al estímulo presentado por la escora de la embarcación, a la cual le da respuesta mediante la DSC, extensión de articulaciones del miembro inferior y CV de su CDG.

El octavo factor “Respuesta a la escora” (3,68%) incluye variables mediante las cuales el sujeto puede responder a la escora sin modificar su TSC, como son su

ángulo con respecto a la embarcación, la presión ejercida sobre la cincha o el CV de su brazo.

Por último, el noveno factor “Extensión de rodilla” (3,14%) hace referencia a la extensión de rodilla llevada a cabo por el regatista en función de cómo lleva a cabo la TSC (a mayor extensión de rodilla mayor DSC y viceversa).

6.4. CORRELACIONES

A través del estudio correlacional llevado a cabo con el fin de conocer las relaciones entre las variables analizadas a lo largo de este trabajo y su relación con el rendimiento en vela ligera, observamos que existen varias relaciones, las cuales se van a explicar a continuación. Los apartados se dividen en función de las variables correlacionadas en los siguientes: Correlaciones entre VMG y factores de rendimiento, correlaciones entre VMG, valores antropométricos, extensibilidad y curvaturas del raquis.

6.4.1. Correlaciones entre VMG y factores de rendimiento

Como hemos visto en el apartado de resultados, el VMG correlacionó de forma positiva con el factor 3 “Rendimiento de la embarcación” y de forma negativa con el factor 6 “Rumbo de la embarcación”. A continuación, vamos a explicar las posibles razones por las que estos factores se relacionan con el rendimiento.

6.4.1.1. Correlaciones entre VMG y Factor 3 “Rendimiento de la embarcación”

Como se ha comentado en el apartado 5.3., el factor 3 “Rendimiento de la embarcación” explica un 10,75% de la TSC y se compone de variables relacionadas con la escora de la embarcación y el esfuerzo producido por el regatista para contrarrestar las mismas.

La escora de la embarcación es uno de los puntos en los que más se hace hincapié a la hora de navegar en vela ligera (De Vito et al., 1993 & Sekulic et al., 2006). Es comúnmente aceptado que cuanto más plano va el barco (menos escorado), más rendimiento debe obtener la embarcación. Sin embargo, este

hecho no ha sido demostrado científicamente hasta el momento, aunque algunos autores lo mencionan en sus investigaciones, pero no como un conocimiento contrastado (Sprada et al., 2007).

Nuestro objetivo planteado en este tema fue corroborar, científicamente, este hecho. Para ello se llevó a cabo el estudio correlacional entre la variable de rendimiento VMG y el factor 3 "Rendimiento de la embarcación". Dentro de este factor se encuentran dos variables relacionadas con la escora del barco y dos variables relacionadas con el *hiking* del regatista. El hecho de que existan dos variables por cada factor es debido a que una de ellas nos la proporciona el simulador, siendo la otra obtenida a través del análisis cinemático llevado a cabo durante el test de navegación.

Tras analizar la relación entre el **VMG** y las variables constituyentes del factor 3 se encontró una correlación negativa con la **escora de la embarcación** y una correlación positiva con el **esfuerzo sacando cuerpo**. De estos resultados podemos corroborar que a **mayor escora** de la embarcación **menor** será el **VMG** obtenido, por lo tanto, menor rendimiento; además, a **mayor esfuerzo sacando cuerpo** (fuerza aplicada por el regatista mediante la TSC inversa a la escora de la embarcación) **mayor VMG**, por lo cual, mayor rendimiento. Estos resultados van en la misma línea que las afirmaciones de estudios como los de De Vito et al. (1993) y Sekulic et al. (2006) los cuales afirman que a menor escora habrá mayor rendimiento de la embarcación, sin embargo, nuestro estudio es el primero en confirmarlo tras un estudio en contexto deportivo mediante el uso de un simulador de navegación.

Por su parte, también se encontraron correlaciones significativas al analizar las variables constituyentes del factor 3 entre sí, sin embargo, pero muy bajas ($r \leq 0,3$). En primer lugar, se encontraron correlaciones significativas positivas entre el **máximo ángulo de escora** (variable proporcionada por el simulador) y la **máxima escora del barco** (variable obtenida a través del estudio cinemático del regatista), así como entre el **esfuerzo sacando cuerpo** (variable proporcionada por el simulador) y el **máximo momento de sacar cuerpo** (variable obtenida a través del estudio cinemático del regatista). Este hecho nos sirve para dar fuerza a los resultados obtenidos, ya que se obtienen los mismos resultados para variables

iguales obtenidas por dos medios distintos. Por otro lado, se encontraron correlaciones negativas entre las variables de *escora* y las de *hiking moment*. Estas correlaciones nos confirman que a mayor momento de sacar cuerpo o esfuerzo sacando cuerpo, menor será la escora de la embarcación y, como hemos corroborado anteriormente, mayor rendimiento. Estos resultados confirman el estudio llevado a cabo por Castagna y Brisswalter (2007), quienes afirmaron que el único modo para contrarrestar la acción del viento sobre las velas y evitar la escora de la embarcación es la capacidad del sujeto de realizar una adecuada técnica de sacar cuerpo y mantenerlo el tiempo necesario, aunque no lo demostraron científicamente. Por otro lado, también confirma los estudios realizados por De Vito et al. (1993) y Sekulic et al. (1996), quienes comentaron que la técnica de sacar cuerpo es necesaria porque la acción del viento sobre las velas escora el barco, lo que aumenta su resistencia y disminuye su velocidad, haciendo fundamental el uso de la técnica de sacar cuerpo para corregir la posición de la embarcación con el objetivo de facilitar su deslizamiento y, por tanto, mejorar su velocidad y rendimiento, no habiéndolo demostrado científicamente, al igual que el estudio de Castagna y Brisswalter (2007) mencionado anteriormente.

Tabla 23.

Correlaciones entre variables de escora y variables hiking

Variables correlacionadas		Correlación
	Esfuerzo sacando cuerpo	$r = -0,663; p \leq 0,000$
Máximo ángulo de escora	Máximo momento sacar cuerpo	$r = -0,639; p \leq 0,000$
	Esfuerzo sacando cuerpo	$r = -0,341; p \leq 0,009$
Máxima escora del barco	Máximo momento sacar cuerpo	$r = -0,334; p \leq 0,011$

r: correlación de Pearson; p: significación.

En definitiva, nuestro estudio es el primero que estudia y correlaciona directamente la fuerza aplicada por el sujeto sobre la banda (técnica de sacar cuerpo) con la escora de la embarcación, encontrándose una correlación negativa, es decir, a mayor fuerza aplicada por el sujeto sobre la banda menor será la escora de la misma. Además, también es el primer estudio en vela ligera con participación de regatistas que correlaciona de forma negativa la escora con el rendimiento de la embarcación (VMG), corroborando que a mayor escora menor rendimiento. Sin embargo, este mismo estudio debería llevarse a cabo en un rango de condiciones de viento mayor, con intensidades menores y mayores a 16 nudos, con el fin de corroborar que estos resultados se repiten en todas las condiciones.

6.4.1.2. Correlaciones entre VMG y Factor 6 "Rumbo de la embarcación"

El factor 6 "Rumbo de la embarcación" mostró una correlación negativa con la variable VMG, pero para poder sacar conclusiones sobre esta correlación también se llevó a cabo un análisis correlacional entre el VMG y las variables constituyentes del factor 6.

Por un lado, encontramos una correlación negativa entre el **VMG** y la variable **ángulo con respecto al viento**, sin embargo, esta relación ha sido descartada ya que el ángulo con respecto al viento es una de las variables en las

que se basa el VMG, como se ha explicado en el apartado del marco teórico específico a esta variable.

Otro resultado remarcable es el que nos muestra que, a **mayor coeficiente de variación del timón, menor** es el VMG de la embarcación. Este dato nos afirma que para incrementar el VMG se debería mantener una posición de timón lo más estable posible. Hay que considerar que el test de navegación se lleva a cabo en condiciones de “aguas tranquilas”, es decir, no entran en escena factores como las olas, el cabeceo de la embarcación o viento racheado, los cuales podrían modificar los resultados para esta variable. Por lo cual, podemos afirmar que en navegación simulada una menor variación del timón proporciona un mayor rendimiento de la embarcación.

Además de con el VMG, las variables del factor 6 también mostraron correlaciones entre sí, las cuales nos ayudan a conocer mejor la relación entre el rumbo de la embarcación y el rendimiento. Por su parte, el **ángulo de la embarcación con respecto a la dirección del viento** correlacionó positivamente con el **desplazamiento máximo de la embarcación**, con la **velocidad media de la embarcación** y con el **coeficiente de variación del timón**. A raíz de estos resultados, podemos confirmar que cuando se navega más arribado (mayor ángulo de la embarcación con respecto al viento) la cantidad de metros recorridos por la embarcación va a ser mayor (desplazamiento total), en parte debido a que se produce un aumento de la velocidad de la embarcación que, a su vez, provoca un mayor coeficiente de la variación del timón. Estos datos se pueden relacionar con un descontrol o una dificultad mayor de manejo de la embarcación al tomar un rumbo más abierto. El aumento de la velocidad exigirá continuas rectificaciones del timón y del rumbo, aumentando así su coeficiente de variación.

En definitiva, podemos concluir que existe una relación entre la técnica de navegación y el rendimiento, pudiendo ser una correcta técnica de navegación que ayude al regatista a obtener el máximo rendimiento posible de su embarcación aquella en la cual, moviendo el timón lo menos posible, consiga mantener un rumbo estable que no lo aleje, en exceso, de la dirección del viento (lo más próximo a 45º posible), evitando así alcanzar una velocidad excesiva y, en

consecuencia, un aumento de los movimientos en el timón. Sin embargo, no se puede afirmar que esta relación ya que nuestra investigación se trata de un estudio correlacional.

6.4.2. Correlaciones entre VMG, variables antropométricas, valores de extensibilidad y curvaturas raquídeas

Al analizar las relaciones entre las variables que atañen al perfil antropométrico de los regatistas, su extensibilidad y las curvaturas de su raquis, se obtuvieron diferentes resultados que a continuación se explican.

6.4.2.1. Correlaciones entre VMG y variables antropométricas

Como se ha comentado en el apartado de resultados, además de la variable VMG se añadieron una serie de variables relacionadas con el rendimiento de la TSC en el análisis correlacional con las variables antropométricas, a partir del cual se obtuvieron las siguientes correlaciones:

En primer lugar, el **VMG** sólo mostró correlación con el **sumatorio de pliegues 6 y 8**, sin embargo, dicha correlación no tenía potencia ($r = -0,34$). A pesar del poco peso de esta correlación, de la misma se puede interpretar que a mayor grasa (tejido no contráctil/productivo) el rendimiento de la embarcación empeora. Esto podría ser debido a una menor capacidad de mantener la posición de sacar cuerpo durante la navegación.

Por otro lado, se obtuvieron correlaciones negativas entre la **distancia de sacar cuerpo (DSC)**, el **IMC** y el **sumatorio de 6 y 8 pliegues**, lo que nos dice que a mayor IMC y/o mayor grasa subcutánea (sumatorio de pliegues), menor será la DSC de los regatistas. Esto podría estar relacionado con la correlación anterior y que, al pesar más se utiliza menos DSC, quizás por no ser capaces de mantener la posición de la TSC.

En cuanto al **Máximo momento de sacar cuerpo**, correlacionó positivamente con el **peso, la talla y la envergadura**. Estos resultados nos muestran, por un lado, algo evidente como es que a mayor peso mayor será el máximo momento de sacar cuerpo, ya que este se calcula a través de la distancia

de sacar cuerpo la cual, a su vez, se calcula con el peso. Teniendo en cuenta las correlaciones anteriores entre sumatorio de pliegues, DSC y VMG, se podría interpretar que los regatistas que más pesan por musculatura, no por grasa subcutánea, rinden más en cuanto a TSC y por tanto en rendimiento de la embarcación. Sin embargo, esto debería estudiarse más en detalle en una futura línea de investigación más específica en este ámbito. En esta misma línea, una mayor talla conllevará que el CDG del sujeto esté más alejado de la embarcación, logrando así una mayor distancia de sacar cuerpo y, por tanto, un mayor momento de sacar cuerpo. Por último, la relación mostrada entre el momento de sacar cuerpo y la envergadura podría ir en línea con Ackland, Schreiner & Kerr (1997) y Canda (2016) afirmando que la práctica deportiva conlleva adaptaciones musculo-esqueléticas que, como en el caso de la envergadura, pueden ser predictoras del rendimiento.

Para finalizar este apartado, debemos destacar que hubo una correlación positiva entre el **factor 3** “Rendimiento de la embarcación” y la variable **Peso**. Recordemos que las variables que definen el factor 3 son aquellas relacionadas con la escora de la embarcación y el *hiking* de los regatistas. Por ello, parece razonable que este resultado nos esté indicando que, a mayor peso de los regatistas, mayor será el momento de sacar cuerpo y, por tanto, menor la escora de la misma.

6.4.2.2. Correlaciones entre VMG y valores de extensibilidad

El **VMG** solo mostró una correlación negativa, estadísticamente significativa, con el **EPR pasivo** de la **pierna derecha** ($r = -0,49$; $p \leq 0,002$). No presenta correlaciones con el resto de los valores de extensibilidad. Además, esta única correlación no es suficientemente fuerte para justificar la relación, quizás por el tamaño de la muestra. Sin embargo, de la misma se puede interpretar que a menor extensibilidad isquiosural (mayor acortamiento) los regatistas obtienen mayor rendimiento (VMG). Esto podría estar relacionado con las adaptaciones musculares específicas que conlleva la modalidad deportiva, es decir, los regatistas que adaptan posturas en las que se obtiene mayor rendimiento acaban sufriendo adaptaciones musculo-esqueléticas derivadas en acortamiento a nivel

isquiosural, sin embargo, esta relación debería ser estudiada de forma más específica en futuros estudios para poder ser confirmada.

6.4.2.3. Correlaciones entre VMG y curvaturas raquídeas

Como se ha comentado en el apartado de resultados, aunque se han encontrado correlaciones estadísticamente significativas, la correlación existente entre ellas no es, en ningún caso, suficientemente fuerte para explicar las relaciones encontradas. Este hecho puede ser debido a la muestra con la que se llevó a cabo el estudio, por lo que podría ser interesante la realización de un estudio a mayor escala para comprobar el comportamiento de las correlaciones encontradas tanto para estas variables como para el resto, en las que el resultado ha sido parecido.

VII - CONCLUSIONES

VII CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las conclusiones más significativas, argumentadas a partir de las hipótesis definidas al inicio de la investigación. También se presentan conclusiones prácticas, orientadas hacia entrenadores y regatistas, con el fin de que los resultados obtenidos en el estudio puedan servir para mejorar los aspectos que han sido analizados.

7.1. CONCLUSIONES A LAS HIPÓTESIS

En este apartado se presentan las conclusiones en base a las hipótesis de estudio confirmándose o rechazándose en cada caso a partir del análisis de los resultados y la discusión de estos.

Hipótesis 1^a. *Las características antropométricas de los regatistas condicionarán los valores de VMG obtenidos por los mismos; aquellos regatistas con un IMC mayor y un somatotipo mesomorfo obtendrán mayores valores de VMG.*

Conclusión 1^a. Tras el análisis de los resultados obtenidos al correlacionar las características antropométricas con el VMG, observamos que existen correlaciones positivas entre variables como el sumatorio de pliegues y el VMG, pudiendo confirmar esta hipótesis.

Hipótesis 2^a. *Existirá una correlación positiva entre los valores de VMG obtenidos por los regatistas y sus curvaturas raquídeas; existiendo más desalineaciones en aquellos regatistas con mayores valores de VMG.*

Conclusión 2^a. Se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre la variable VMG y varias variables referentes a las curvaturas del raquis; sin embargo, los valores obtenidos para dichas correlaciones explican muy poco la relación existente (en todas ellas $r < 0,6$). Por este motivo, no se puede concluir una relación fuerte entre variables, refutando parcialmente esta hipótesis.

Hipótesis 3ª. *Existirá una relación de acortamiento (menor flexibilidad) en aquellos regatistas con mayores niveles de VMG.*

Conclusión 3ª. Los datos obtenidos con relación a la extensibilidad (tanto isquiosural como de psoas) han mostrado que la muestra en general sufre acortamiento en ambas piernas; además se ha encontrado una correlación negativa entre el test EPR pasivo de la pierna derecha y el VMG, por lo que se puede aceptar esta hipótesis de estudio.

Hipótesis 4ª. *Existirá una diferencia en la navegación entre bordos, obteniendo mejores resultados para las variables de navegación en función de la banda a la que se navegue; siendo mejores cuando los regatistas naveguen amurados a Estribor.*

Conclusión 4ª. Al analizar las variables de navegación, existieron diferencias en los resultados de estas en función del bordo, siendo mejores cuando los regatistas navegaban amurados a Babor. Por tanto, podemos corroborar parcialmente esta hipótesis, ya que sí existen diferencias en la navegación entre bordos, pero no son mejores cuando navegan a Estribor.

Hipótesis 5ª. *El miembro superior del regatista estará en constante movimiento, corroborando la teoría que califica a la técnica de sacar cuerpo como cuasi-isométrica.*

Conclusión 5ª. Tras el análisis cinemático de la TSC se ha comprobado que se trata de una técnica en la que los regatistas están continuamente haciendo ajustes de posición tanto del miembro inferior como del superior, principalmente en el eje vertical, por lo que se corrobora la hipótesis de que es una técnica cuasi-isométrica.

Hipótesis 6ª. *La técnica de sacar cuerpo estará regulada por factores de navegación relacionados con la técnica de navegación, el manejo de la embarcación y antropométricos.*

Conclusión 6ª. Tras realizar el análisis de componentes principales para las variables relacionadas con la TSC, se comprobó que esta se regula por 9 factores distintos (véase apartado 4.3), los cuales tienen que ver tanto con la técnica de navegación (ángulo de navegación, CV timón, etc.), como con factores antropométricos (peso, talla, distancia sacar cuerpo, etc.), y factores de navegación (velocidad, escora, etc.) por lo que podemos corroborar esta hipótesis.

Hipótesis 7ª. *Los regatistas con mayor control de la embarcación (menor variabilidad en la escora, menor variabilidad del timón, menor variabilidad del rumbo de la embarcación con respecto al viento, etc.) obtendrán mayores valores de VMG.*

Conclusión 7ª. Los regatistas que navegaron con una variabilidad del timón menor (más estable), consiguieron un rumbo con respecto a la dirección del viento más estable (menor variabilidad del rumbo), obteniendo mayores valores de VMG. En base a este resultado se puede confirmar esta hipótesis.

Hipótesis 8ª. *Los valores de VMG estarán inversamente relacionados con los niveles de escora de la embarcación, siendo mayores cuanto menor sea la escora de la embarcación.*

Conclusión 8ª. Tras el análisis correlacional entre la variable VMG y el factor 3 “Rendimiento de la embarcación”, en el que se enmarcan las variables relacionadas con la escora de la embarcación, se comprobó que a mayor escora de la embarcación menor es el VMG obtenido, por lo que podemos confirmar esta hipótesis, quedando demostrado que una mayor escora de la embarcación da lugar a un menor rendimiento de la misma.

7.2. IMPLICACIONES PRÁCTICAS

En este apartado se muestran las implicaciones prácticas que se considera pueden ayudar a la mejora del rendimiento de los regatistas de clase *Laser 4.7* tras el estudio llevado a cabo con esta Tesis Doctoral. El objetivo de estas implicaciones prácticas es tratar de ayudar tanto a regatistas como a entrenadores

a comprender los resultados obtenidos y cómo se pueden trasladar éstos a la práctica real.

En primer lugar, una conclusión derivada de este estudio a tener en cuenta por entrenadores y regatistas es la existencia de diferencias cuando un regatista navega amurado a Estribor y cuando lo hace amurado a Babor. Sería interesante diseñar planes de entrenamiento en los que se incluyese el trabajo de ambos bordos por igual, con el fin de evitar que acaben apareciendo descompensaciones en función del bordo al que naveguen, ya que dependiendo de la regata, y de las condiciones del viento, puede darse el caso de que un regatista se vea obligado a navegar la mayor parte de la ceñida amurado a su bordo “malo”, pudiendo verse mermado su rendimiento en comparación con los regatistas que en ese momento se encuentren navegando en su bordo “menos malo”. Dentro de estos posibles planes de trabajo, sería conveniente planificar tareas que ayuden al regatista a compensar la falta de dinamismo mostrado por los regatistas cuando navegaron a Babor en este estudio.

En línea con las posibles aplicaciones al trabajo en el agua, otra importante aplicación podría ser la estructuración de planes de entrenamiento basado en los factores, o dimensiones, que se han encontrado como descriptores de la TSC. En función de los objetivos del entrenamiento se pueden diseñar sesiones basadas en el trabajo de uno o varios factores. Por ejemplo, una sesión de entrenamiento centrada en la técnica de navegación podría basarse en las variables componentes del factor 2 “Posición del regatista con respecto a la embarcación” y del factor 4 “Manejo de la embarcación con los brazos”.

Por otro lado, tras el estudio de la extensibilidad de los sujetos, se ha observado una importante deficiencia en la misma, tanto para la musculatura isquiosural como para el Psoas-Iliaco. Esta deficiencia sólo puede llevar a la producción de lesiones a largo plazo y a una reducción en el rendimiento de los regatistas por lesión, por lo que sería interesante el desarrollo de programas de trabajo para evitar acortamientos e incrementar los niveles de fuerza en estas musculaturas con el fin de mantener la posición de sacar cuerpo. Además, se ha visto que a mayor sumatorio de pliegues menor será el VMG, por el contrario, un mayor peso y altura se ha relacionado con un mayor momento de sacar cuerpo,

por lo que otro programa interesante a desarrollar sería el de acondicionamiento para la ganancia de masa muscular en piernas y parte superior del tronco. Desafortunadamente, hoy en día muy pocos (o ninguno) equipos de vela de la Región de Murcia, tanto a nivel de base (Optimist) como a nivel de alta competición (en el que se ha llevado a cabo este estudio), trabajan la extensibilidad de los regatistas y/o el acondicionamiento físico específico de la modalidad deportiva. Por este motivo, como se ha comentado, se propone a los entrenadores el diseño de protocolos de trabajo de extensibilidad y de acondicionamiento físico, que los regatistas puedan llevar a cabo tanto durante los días de entrenamiento, como durante la semana en casa, con el objetivo de mejorar este ámbito hasta ahora olvidado en este deporte y que puede ayudar a la mejora tanto de la salud como del rendimiento de los deportistas.

A raíz los resultados obtenidos para las curvaturas del raquis, sería conveniente la introducción de planes de trabajo fuera del agua relacionadas con el fortalecimiento de la musculatura que prevenga y ayude a corregir las curvaturas que se han observado que podrían desencadenar en lesiones a nivel del raquis.

Por último, presentar las ventajas que el simulador *V-Sail Trainer*® puede aportar a los entrenadores. Debido a la importancia de las condiciones meteorológicas en el deporte de la vela, a lo largo de una temporada se dan muchas situaciones en las que las condiciones nos son aptas para la navegación (ya sea por extremas o por mínimas) y teniendo en cuenta el número de horas semanales que entrena un equipo de regatas (generalmente entre 12 y 15 horas concentradas en sábado y domingo), el hecho de perder un día de navegación supone un escollo importante en el plan de entrenamiento de los regatistas. Con ésta herramienta se podría trabajar en seco no solo los días que las condiciones meteorológicas no lo permitan, si no que se podría sustituir por algunas sesiones de agua, con el objetivo de entrenar la técnica o la táctica de una forma más precisa, ya que el entrenador puede controlar en todo momento cada gesto o acción del regatista en tiempo real, cosa que es más complicada en el agua, ya que el entrenador va en una embarcación distinta a la de los regatistas, siempre a una distancia prudente por seguridad y con varias embarcaciones que controlar en el agua a la vez. Por estos motivos se propone el simulador como una herramienta

de entrenamiento complementaria al entrenamiento en agua, la cual facilite el aprendizaje de aspectos de la navegación transferibles a situaciones de navegación real.

VIII – LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

VIII –LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

8.1. LIMITACIONES

Debido a las características del estudio y del deporte en el que se ha llevado a cabo, hay que destacar las limitaciones que se han presentado a la hora de la realización de este y que nos hacen ser prudentes a la hora de interpretar los resultados.

- 1- La primera limitación a destacar es el tamaño de la muestra. Aunque hemos podido contar con la mayor población de regatistas de *Laser* de la región de Murcia y parte de la Comunidad Valenciana (*Laser* 4.7) el número de participantes ha sido reducido y no podemos extrapolar los resultados obtenidos al resto de regatista de esta clase.
- 2- Otra limitación en relación con la muestra es lo efímera que resultó ser la misma. Tras la realización de las mediciones se propuso llevar a cabo otros test para mejorar la calidad de la investigación, sin embargo, nos encontramos con el problema de que parte de la muestra había cambiado de clase (a *Laser* Radial), otra parte había pasado el rango de edad, y otra última parte había abandonado la práctica de la vela debido a la crítica edad en la que se encontraban y la relación con los estudios. Por estos motivos nos encontramos con una muestra muy mermada y la imposibilidad de realizar nuevas mediciones.
- 3- Los resultados obtenidos para las variables de navegación podrían cambiar en una situación de navegación real debido a que el simulador no cuenta con variables importantes como el cabeceo de la embarcación al pasar las olas o la deriva de esta debido a la corriente, sino que la situación simulada fue en condiciones de aguas tranquilas.
- 4- Otra condición que resultó limitante del estudio fue que se condicionó ligeramente a los regatistas en su técnica de sacar cuerpo. Muchos de

ellos tienden a cruzar los pies en la cincha cuando aparece la fatiga, sin embargo, durante el test de navegación se les pidió mantener los pies paralelos en todo momento con el fin de no perder los marcadores colocados en el pie para el registro mediante el sistema de seguimiento.

- 5- A la hora de analizar las variables antropométricas, de extensibilidad y curvaturas raquídeas se consideró a chicos y chicas por igual cuando los autores recomiendan que se analicen por separado. Esto se debió a la escasez de muestra femenina y a que en este tipo de embarcación ambos sexos compiten juntos.

8.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir de los resultados y de las conclusiones obtenidas, y teniendo en cuenta las limitaciones encontradas durante la investigación, se plantean futuras propuestas de estudio, con el fin de seguir aportando conocimiento científico al deporte de la vela.

- 1- Aumentar la muestra de estudio, con el fin de poder extrapolar los resultados obtenidos a todos los regatistas de la clase *Laser*. Dentro de este aumento tratar de obtener suficiente muestra de ambos sexos para poder realizar análisis por separado. De igual modo se comprobaría si las correlaciones observadas para las que se obtuvo valores de “r” muy bajos siguen existiendo y si, al ser mayor la muestra, el valor de “r” también aumenta.
- 2- Mejorar el hardware y software del simulador para incluir las variables de navegación que limitan este estudio, como son la deriva y el cabeceo de la misma.
- 3- Llevar a cabo una investigación específica sobre los valores antropométricos interesantes obtenidos en este estudio como la envergadura, los perímetros corregidos de brazo y pierna, y los diámetros de Húmero y Biestiloideo, para corroborar las causas que provocan los resultados obtenidos.
- 4- Realizar un programa de fortalecimiento de la musculatura de los aproximadores escapulares y estiramiento de la musculatura pectoral para los regatistas que mostraron alteraciones posturales a nivel torácico y comprobar qué efecto tiene en el desarrollo de estas. Del mismo modo, aplicar un programa de fortalecimiento de la musculatura abdominal y estiramiento de Psoas iliaco para aquellos regatistas que mostraron alteraciones posturales a nivel lumbar. Ambos programas deberían ir acompañados de concienciación postural.

IX - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aagaard, P., Beyer, N., Simonsen, E. B., Larsson, B., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (1998). Isokinetic muscle strength and hiking performance in elite sailors. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 8, 138-144.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Beyer, N., Larsson, B., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (1997). Isokinetic muscle strength and capacity for Muscular Knee Joint Stabilization in Elite Sailors. *International Journal of Sports Medicine*, 18, 521 - 525.
- Ackland, T. R., Schreiner, A. B., & Kerr, D. A. (1997). Absolute size and proportionality characteristics of World Championship female basketball players. *Journal of Sports Science*, 15(5), 485-90.
- Allen, J. B., & De Jong, M. R. (2006). Sailing and sports medicine: a literature review. *British Journal Sports Medicine*, 40, 587-593. doi: 10.1136/bjism.2002.001669.
- Ayala, F., Sainz de Baranda, P., de Ste Croix, M. & Santonja, F. (2012). Fiabilidad y validez de las pruebas *sit-and-reach*: revisión sistemática. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 5(2):53-62.
- Balaguer, I., Castillo, I. & Tomás, I. (1996). Análisis de las propiedades psicométricas del cuestionario de orientación al ego y a la tarea en el deporte (TEOSQ) en su traducción al castellano. *Psicología*, 17, 71-81.
- Barbado, D. (2014). *Análisis biomecánico de la estabilidad del tronco en función de la especialización y el rendimiento deportivo*. (Tesis Doctoral). Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, España.
- Beillot, J., Rochcongar, P., Gouard, P., Simonet, J., Briend, G., & Le Bars, R. (2001). The recall Finn: biomechanical approach. *Cinésiologie*, 80, 179-91.

- Bejarano, M. A. & Naranjo, J. (2014). Lateralidad y rendimiento Deportivo. *Archivos de Medicina del deporte*, 31(3): 200-204.
- Binns, J. R., Bethwaite, F. W., & Saunders, N. R. (2002, Diciembre). Development of a more realistic sailing simulator. Paper presentado en High Performance Yacht Design Conference, Auckland, USA.
- Binns, J. R., Hochkirch, K., De Bord, F., & Burns, I. A. (2008, Diciembre). The development and use of sailing simulation for IACC starting manoeuvre training. Paper presentado en 3rd High Performance Yacht design conference, Auckland, USA.
- Blackburn, M. (1994). Physiological responses to 90 min of simulated dinghy sailing. *Journal of Sports Sciences*, 12, 383-390.
- Blackburn, M., & Hubinger, L. (1995). Determination of Physiological profiles and exercise training programs for competitive dinghy sailors. *National Sport Research Centre*, 1-16.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Journal of Medicine Science Sports Exercise*, 14(5), 377-381.
- Bourgeois, J.G., Callewaert, M., Celie, B., De Clercq, D. & Boone, J. (2016). Isometric quadriceps strength determines sailing performance and neuromuscular fatigue during an upwind sailing emulation. *Journal of Sport Science*, 34, 973-979.
- Bourgeois, J.G., Durmortier, J., Callewaert, M., Celie, B., Capelli, C., Sjogaard, G., De Clercq, D. & Boone, J. (2017). *European Journal of Sport Science*, 17(5), 611-620.
- Brahm, H., Ström, H., Piehl-Aulin, K., Mallmin, H., & Ljunghall, S. (1997). Bone metabolism in endurance trained athletes: A comparison to population-based control based on DXA, SXA, quantitative ultrasound and biomechanical markers. *Calcified Tissue International*, 61, 448-454.
- Cailliet, R. (1990). Dorso. México D.F.: Manual Moderno.

- Calbet, J. A., Díaz-Herrera, P., & Rodríguez, L. P. (1999). High bone mineral density in male elite professional volleyball players. *Osteoporosis International*, 10, 468-474.
- Calbet, J. A., Moysi, J. S., Dorado, C., & Rodríguez, L. P. (1998). Bone mineral content and density in profesional tennis players. *Calcified Tissue International*, 62, 491-496.
- Callewaert, M. (2013). Development of an upwind sailing ergometer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8, 663-670.
- Callewaert, M., Boone, J., Celie, B., De Clercq, D., & Bourgois, J. (2014). Cardiorespiratory and muscular responses to simulated upwind sailing exercises in Optimist. *Pediatric Exercise Science*, 26(1), 56-63.
- Callewaert, M., Boone, J., Celie, B., De Clercq, D., & Bourgois, J. (2015). Indicators of sailing performance in youth dinghy sailing. *European Journal of Sport Science*, 15, 213-219.
- Canda, A. (2012). Variables antropométricas de la población deportista española. Consejo Superior de Deportes. Madrid, España. ISBN: 978-84-7949-220-5.
- Canda, A. (2016). Perfil antropométrico del gimnasta desde la infancia hasta la madurez deportiva: reporte de 2 casos. *Archivos de Medicina del Deporte*, 33(6), 375-381.
- Carrasco, L., Martínez, E. & Nadal, C. (2005). Perfil antropométrico, somatotipo y composición corporal de jóvenes piragüistas. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 5(19), 270-282.
- Carrasco, M., Reche, D., Torres-Sobejano, M., Romero, E. & Martínez, I. (2014). Comparación de la movilidad del raquis entre mujeres de mediana edad practicantes de pilates y de otro tipo de ejercicio. *Journal of Sport and Health Research*. 6(2):169-176.
- Castagna, O., & Brisswalter, J. (2007). Assessment of energy demand in Laser sailing: influences of exercise duration and performance level. *European Journal of Applied Physiology*, 99, 95-101.

- Cervelló, E., Escartí, A. & Balagué, G. (1999). Relaciones entre la orientación metadisposicional y la satisfacción con los resultados deportivos, las creencias sobre las causas de éxito en el deporte y la diversión con la práctica. *Revista de Psicología del Deporte*, 8(1), 7-19.
- Chicoy, I., & Encarnación-Martínez, A. (2015). Determining factors in the performance of hiking in dinghy sailing: a literature review. *European Journal of Human Movement* (34): 15-33.
- Clark, N. A. (2014). *Validation of a sailing simulator using full scale experimental data*. (Tesis Doctoral). University of Tasmania, Australia.
- Contreras, M., Miranda, J., Ordóñez, M., Miranda, M. & Diez, F. (1981). Semiología del dorso curvo juvenil. Ponencia presentada en la Jornada Monográfica vertebral, Servicio de Rehabilitación, Hospital de La Paz, Madrid.
- Corbetta, S., Boniolo, S. M., Savaresi, S., Vischi, A., & Malgarise, D. (2011, Julio). Real-time identification of the best performances of a sailboat. Paper presentado en American Control Conference, San Francisco, CA, USA.
- Cunningham, P., & Hale, T. (2007). Physiological responses of elite *Laser* sailors to 30 minutes. *Journal of Sports Sciences*, 25(10), 1109-1116.
- De Hoyo, M., Sañudo, B., París, F. & De la Fuente, L. J. (2007). Estudio del biotipo y la composición corporal en jóvenes jugadores de bádminton. *Medicina del Deporte*, 7, 9-14.
- De Rose, E. H., & Guimares, A. G. (1980). A model for optimization of somatotype in young athletes. En Ostry, M., Beunen, J. & Simons, J. (Eds), *Kinanthropometry II*, 77-80.
- De Vito, G. L., Di Filippo, F., & Marchetti, M. (1993). Hiking mechanics in *Laser* athletes. *Medical Science Research*, 10(23), 859-61.
- Del Valle, S., & De la Vega, R. (2007). Laterally in the sport of full contact. Changes in different conditions. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 7(25), 32-51.

- Dolan, P., & Adams, M. (1998). Repetitive lifting tasks fatigue the back muscles and increase the bending moment acting on the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*, 31(8), 713-721.
- Dona, G., Preatoni, E., Cobelli, C., Rodano, R., & Harrison, A. J. (2009) Application of functional principal component analysis in race walking: an emerging methodology. *Sports Biomechanics*, 8 (4), 284-301. ISSN 1476-3141.
- Esola, M. A., McClure, P. W., Fitzgerald, G. K., & Siegler, S. (1996). Analysis of lumbar spine and hip motion during forward bending in subjects with and without a history of low back pain. *Spine*, 21(1), 71-78.
- Esparza-Ros, F., Escobar-Badía, J. M., Esparza-Ros, M. & Vaquero-Cristóbal, R. (2014, Abril). Extensibilidad del Psoas iliaco: Comparativa por cursos de Enseñanzas Profesionales de Danza Española; Poster presentado en V Congreso Internacional Universitario de Investigación sobre el flamenco, Murcia, España.
- Esparza-Ros, F., Escobar-Badía, J. M. & Vaquero-Cristobal, R. (2015, Abril). Evolución de la extensibilidad del Psoas iliaco en un año académico en bailarinas de enseñanzas elementales. Paper presentado en el VI Congreso Internacional Universitario de Investigación sobre el flamenco, Murcia, España.
- Felici, F., Rodio, A., Madaffari, A., Ercolani, L., & Marchetti, M. (1999). The cardiovascular work of competitive dinghy sailing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39(4), 309-314.
- Ferrer, V. (1998). *Repercusiones de la cortedad isquiosural sobre la pelvis y el raquis lumbar*. (Tesis Doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Gale, T. J., & Walls, J. T. (2000). Development of a sailing dinghy simulator. *Simulation*, 74(3), 167-179.
- García, J. A. (2015). *Influencia de la práctica del tenis sobre las curvaturas sagitales del raquis y la extensibilidad isquiosural en deportistas adolescentes*. (Tesis Doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España.

- Gedeon, S. A. (2001). *Sailboat and crew performance optimization system*. No. 6.308.649.B1. Toronto, Ontario, CA: United States Patent and Trademark Office.
- Graf, K., Pelz, M., Bertram, V., & Söding, H. (2007, Marzo). *Added resistance in Seaways and its Impact on Yacht Performance*. Paper presentado en el 18th Chesapeake sailing yacht symposium. Annapolis, Maryland, USA.
- Guermazi, M., Ghroubi, S., Kassis, M., Jaziri, O., Keskes, H., Kessomtini, W., Ben Hammouda I., & Elleuch M. H. (2006). Validity and reliability of Spinal Mouse to assess lumbar flexion. *Annals of Readapted Medical Physiology*, 49(4): 172-179.
- Gutierrez, A. (2006). Estudio comparativo del acortamiento del psoas iliaco y el recto anterior del cuádriceps entre yudocas competidores y universitarios no deportistas. *Revista de fisioterapia*, 5(1), 9-18.
- Gutierrez, M. (1998). *Biomecánica deportiva*. España, Síntesis. ISBN: 84-7738-610-2.
- Hafer, J. & Boyer, k. (2017). Variability of segment coordination using a vector coding technique: Reliability analysis for treadmill walking and running. *Gait & Posture*, 51, 222-227.
- Harvey, D. (1998). Assessment of the flexibility of elite athletes using the modified Thomas test. *Br Journal of Sports Medicine*, 32, 68-70.
- Holtzen, D. W. (2000). Handedness and professional tennis. *International Journal of Neuroscience*, 105 (1-4), 101-119.
- James, C.R., Herman, J.A., Dufek, J.S., & Bates, B.T. (2007). Number of trials 18 necessary to achieve performance stability of selected ground reaction force 19 variables during landing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 126-134.
- Jansen, A., Van Abbema, A., & Howe, C. (2012). Improving comfort while hiking in a sailing boat. *Procedia Engineering*, 34, 355 – 360.
- Kerlinger, F. N. (1965). Foundations of Behavioral Research. *American Educational Research Journal*, 2(2), 121-124.

- Kuen, W., Burnett, A., Xie, W., Wee, P., Lim, J., & Tan, K. (2010). Levels of muscle activation in strength and conditioning exercises and dynamometer hiking in junior sailors. *International Symposium on Biomechanics in Sports*, 26(4), 1066-1075. doi: 10.1519/JSC.0b013e31822e9378
- Larsson, B., Beyer, N., Bay, P., Biond, L., Aagaard, P., & Kjaer, M. (1996). Exercise performance in elite male and female sailors. *International Journal of Sport Medicine*, 17(7), 1-5.
- Legg, S. J., Miller, A. B., Slyfield, D., Smith, P., Gilberd, C., Wilcox, H., & Tate, C. (1997). Physical performance of elite New Zealand Olympic class sailors. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37(1), 41-49.
- Lengsfeld, M., Frank, A., Van Deursen, D., & Griss, P. (2000). Lumbar spine curvature during office chair sitting. *Medical Engineering and Physics*, 22(9), 665-669.
- López-Miñarro, P. A. (2000). *Ejercicios desaconsejados en la actividad física. Detección y alternativas*. Barcelona: Inde.
- López-Miñarro, P. A. (2003). *Análisis de ejercicios de acondicionamiento muscular en salas de musculación. Incidencia sobre el plano sagital*. (Tesis Doctoral). Universidad de Murcia, Murcia.
- López-Miñarro, P. A., Alacid, F., Ferragut, C. & García-Ibarra, A. (2008a). Valoración y comparación de la extensibilidad isquiosural entre kayakistas y canoistas de categoría infantil. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 20, 97-111.
- López-Miñarro, P. A., Alacid, F., Muyor, J. M. & López, F. J. (2010). Validez del test sit-and-reach modificado como criterio de extensibilidad isquiosural en adultos jóvenes. *Cronos. Rendimiento en el deporte*, 17, 39-46.
- López-Miñarro, P. A., Alacid, F., & Rodríguez, P. L. (2010a). Comparison of sagittal spinal curvatures and hamstring muscle extensibility among young elite paddlers and non-athletes. *International SportMed Journal*, 11(2), 301-312.

- López-Miñarro, P. A., Ferragut, C., Alacid, F., Yuste, J. L. & García, A. (2008b). Validez de los test dedos-planta y dedos-suelo para la valoración de la extensibilidad isquiosural en piragüistas de categoría infantil. *Apunts. Medicina de l'esport*, 43(157), 24-29.
- López-Miñarro, P. A., Garcia, A. & Rodriguez, P. L. (2010b). Comparación entre diferentes test lineales de medición de la extensibilidad isquiosural. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 99, 56-64.
- López-Miñarro, P. A., Muyor, J. M., Belmonte, F., & Alacid, F. (2012). Acute Effects of Hamstring Stretching on Sagittal Spinal Curvatures and Pelvic Tilt. *Journal of Human Kinetics*, 31, 69-78.
- López-Miñarro, P. A., Sainz de Baranda, P., Rodríguez-García, P. L., & Ortega, E. (2007). A comparison of the spine posture among several sit-and-reach test protocols. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(6), 456-462.
- Mackie, H. W. (1999). Preliminary assessment of force demands in *Laser* racing. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 2(1), 78-85.
- Mackie, H., Sanders, R., & Legg, S. (1999). The physical demands of Olympic yacht racing. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(4), 375-388.
- Maisetti, O., Boyas, S., & Guevel, A. (2006). Specific neuromuscular responses of high skilled *Laser* sailors during a multi-joint posture sustained until exhaustion. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 968-975.
- Maisetti, O., Guevel, A., Iachkine, P., Legros, P., & Briswalter, J. (2002). Sustained hiking position in dinghy sailing. Theoretical aspects and methodological considerations for muscle fatigue assessment. *Science & Sports*, 17(5), 234-246.
- Manzanares, A. (2013). *Análisis del comportamiento visual y del rendimiento logrado en la salida de regatas simuladas: diferencias en función de la experiencia*. (Tesis Doctoral). Universidad Católica de Murcia, Murcia, España.

- Manzanares, A., Segado, F. & Menayo, R. (2012). Factores determinantes del rendimiento en vela deportiva: revisión de la literatura. *Ciencia, Cultura y Deporte*, 20(7), 125-134.
- Marchetti, M., Figura, F., & Ricci, B. (1980). Biomechanics of two fundamental sailing postures. *Journal of Sport Medicine*, (20), 325-332.
- Martínez, F. (2004). *Disposición del raquis en el plano sagital y extensibilidad isquiosural en gimnasia rítmica deportiva*. (Tesis Doctoral). Universidad de Murcia, Murcia.
- McGill, S. M. (2002). *Low Back Disorders. Evidence-Based Prevention and Rehabilitation*. Champaign: Human Kinetics.
- Menayo, R., Manzanares, A., Segado, F., & Martínez, M. (2016). Relationship between amount of variability in eye motion and performance in simulated sailing. *European Journal of Human Movement*, (36), 104-105.
- Moraes, J., Nery, C., Fontel, E., Morais, E., Consendey, F., Rossatto, S., et al. (2003). Multidisciplinary assessment of the Brazilian Olympic Sailing Team. In: Legg, S.J., editor. *Human performance in sailing conference proceedings: incorporating the 4th European Conference on Sailing Sports Science and Sports Medicine and the 3rd Australian Sailing Science Conference*. Palmerston North, New Zealand: Massey University; 2003. p. 92-5.
- Muyor, J. M. (2010). *Evaluación del morfotipo raquídeo en el plano sagital y grado de extensibilidad isquiosural del ciclista*. (Tesis Doctoral). Universidad de Almería, Almería, España.
- Muyor, J. M., Alacid, F., Rodríguez-García, P. L. & López-Miñarro, P.A. (2012). Influencia de la Extensibilidad Isquiosural en la Morfología Sagital del Raquis e Inclinación Pélvica en Deportistas. *International Journal of Morphology*, 30(1), 176-181, 2012.
- Muyor, J. M., Sanchez-Sanchez, E., Sanz-Rivas, D., & López-Miñarro, P. A. (2013). Sagittal Spinal Morphology in Highly Trained Adolescent Tennis Players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(3), 588-593.

- Nilsson, C., Wykman, A., & Leanderson, J. (1993). Spinal sagittal mobility and joint laxity in young ballet dancers. *Knee Surgery, Sports Traumatology and Arthroscopy*, 1(3-4), 206-208.
- Norton, K., & Olds, T. (2001). Morphological evolution of athletes over the 20th century. *Sports Medicine* 31(11), 763-783.
- Pastor, A. (2000). *Estudio del morfotipo sagital de la columna vertebral y de la extensibilidad de la musculatura isquiosural de jóvenes nadadores de élite españoles*. (Tesis Doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Putnam, C. A. (1979). A mathematical model of hiking positions in a sailing dinghy. *Medicine and Science in Sport*, 11(3), 288-292.
- Reina, R. (2004). *Análisis del comportamiento visual y motor de reacción de jugadores de tenis y tenis en silla de ruedas en el resto del servicio*. (Tesis Doctoral). Universidad de Extremadura, Extremadura, España.
- Reina, R., Luis, V., Moreno, F. J. & Sanz, D. (2004). Influencia del tamaño de la imagen sobre la estrategia de búsqueda visual en situación simulada del resto en tenis. *Revista de Psicología del Deporte*, 13(2), 175-193.
- Reina, R., Moreno, F. J. & Sanz, D. (2007). Visual Behavior and motor responses of novice and experienced wheelchair tennis players relative to the service return. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 24, 254-271.
- Reina, R., Moreno, F. J., Sanz, D., Damas, J. S. & Luis, V. (2006). El efecto de la dimensionalidad de la escena en el comportamiento visual y motor durante el resto al servicio en tenis y tenis en silla de ruedas. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 16, 63-84.
- Rodio, A., Madaffari, A., Olmeda, C., Petrone, D. M., & Quattrini, F. M. (1999). Energetic and cardiovascular demand in young sailor (optmist). *Medicina dello Sport*, 52(3), 151-158.
- Rodríguez, P. L. (1998). *Educación física y salud del escolar: programa para la mejora de la extensibilidad isquiosural y del raquis en el plano sagital*. (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Granada.

- Rodríguez, M. C., Izquierdo, J. M., Ruiz, J. A. & Mendoza, A. (2008). *Diagnóstico de personalidad en deporte de competición*. Sevilla, España: Wanceulen Editorial Deportiva, S.L. ISBN: 978-84-9823-113-7.
- Ross, W. D., & Wilson, N. C. (1974). A stratagem for proportional growth assessment. *European Journal of Pediatrics* (28), 169-182.
- Sainz de Baranda, P. (2002). *Educación física y actividad extraescolar: programa para la mejora del raquis en el plano sagital y la extensibilidad isquiosural en Primaria*. (Tesis Doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España.
- Santonja, F. (1996). Las desviaciones sagitales del raquis y su relación con la práctica deportiva. En V. Ferrer, L. Martínez & F. Santonja (Eds.), *Escolar: Medicina y Deporte* (pp. 251-268). Albacete: Diputación Provincial de Albacete.
- Santonja, F., Ferrer V. & Martínez I (1995). Exploración clínica del síndrome de isquiosurales cortos. *Selección*, 4(2), 81-91.
- Santonja, F., Pastor, A. & Serna, L. (2000). Valoración radiográfica de las desalineaciones sagitales del raquis. *Selección*, 9(4), 216-229.
- Sato, K., Kikuchi, S., & Yonezawa, T. (1999). In vivo intradiscal pressure measurement in healthy individuals and in patients with ongoing back problems. *Spine*, 24(23), 2468-2474.
- Schache, A. G., Blanch, P.D., & Murphy, A. T. (2000). Relation of anterior pelvic tilt during running to clinical and kinematic measures of hip extension. *Br Journal Sports Medicine*, 34, 279-283.
- Schütz, G. R., Hauptenthal, A., Ruschel, C., Fontana, H. B., Hubert, M., Pereira, S. M., & Roesler, H. (2011). *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11(2), 931-934.
- Sekulic, D., Medved, V., Rausavljevi, N., & Medved, V. (2006). EMG analysis of muscle load during simulation of characteristic postures in dinghy sailing. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 20-27.

- Serna, L., Santonja, F. & Pastor, A. (1996). Exploración clínica del plano sagital del raquis. *Selección*, 5(2), 36-50.
- Shephard, R. J. (1997). The biology and medicine of sailing. *Sports Medicine*, 23(6), 350-356.
- Sprada, F., Schütz, G. R., Cerutti, P. R., Calado, L. Brito, H., & Roes, H. (2007). Biomechanical analysis of spine movements in hiking on sailing. *XXV ISBS Symposium 2007, Ouro Preto – Brazil*.
- Spurway, N. C. (2006). Hiking physiology and the quasi-isometric concept. *Journal of Sports Sciences*, 25(10), 1081 – 1093.
- Spurway, N. C., & Burns, R. (1993). Comparision of dynamic and static fitness. *Medical Science Research*, 21(23), 865-867.
- Spurway, N. C., Legg, S., & Hale, T. (2007). Sailing Physiology. *Journal of Sports Science*, 25(10), 1073-1075.
- Tan, B., Aziz, A. R., Spurway, N. C., Toh, C., Mackie, H., Xie, W., Wong, J., Fuss, F. K., & Teh, K. C. (2006). Indicators of maximal hiking performance in *Laser* sailors. *European Journal of Applied Physiology*, 98, 169–176.
- Vangelakoudi, A., Vogiatzis, I., & Geladas, N. (2007). Anaerobic capacity, isometric endurance and *Laser* sailing performance. *Journal of Sports Sciences*, 25(10), 1095-1100.
- Vaquero-Cristobal, R. (2017). *Efectos de la práctica del método Pilates en la antropometría, imagen corporal, disposición sagital del raquis y extensibilidad isquiosural*. (Tesis Doctoral). Universidad Católica de Murcia, Murcia, España.
- Vaquero-Cristóbal, R., Muyor, J. M., Alacid, F. & López-Miñarro, P. A. (2012). Efecto de un Programa de Estiramientos de la Musculatura Isquiosural en Futbolistas. *International Journal of Morphology*, 30(3), 1065-1070.

- Vaquero-Cristóbal, R., López-Miñarro, P. A., Alacid, F. & Esparza-Ros, F. (2015). Efectos del método pilates sobre la extensibilidad isquiosural, la inclinación pélvica y la flexión del tronco. *Nutrición Hospitalaria*, 32(5), 1967-1986.
- Vogiatzis, I., Andrianopoulos, V., Louvaris, Z., Cherouveim, M., Spetsioti, S., Vasilopoulou, M., & Athanasopoulos, D. (2011). Quadriceps muscle blood flow and oxygen availability during repetitive bouts of isometric exercise in simulated sailing. *Journal of Sports Sciences*, 29(10), 1041-1049.
- Vogiatzis, I., Spurway, N. C., Jennett, S., Wilson, J., & Sinclair, J. (1996). Changes in ventilation related to changes in electromyograph activity during repetitive bouts of isometric exercise in simulated. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(3), 195-203.
- Vogiatzis, I., Tzineris, D., Athanasopoulos, D., Georgiadou, O., & Geladas, N. (2008). Quadriceps oxygenation during isometric exercise in sailing. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 11–15.
- Wilke, H., Neef, P., Caimi, M., Hoogland, T., & Claes, L. (1999). New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine*, 24(8), 755-762.
- Wood, C. J., & Aggleton, J. P. (1989). Handedness in fast ball sports. Do lefthanders have an innate advantage? *British Journal of Psychology*, 80, 227-234.
- Wright, G., Clarke, J., Niinimaa, V., & Shepard, R. J. (1976). Some reactions to a dry-land training programme for dinghy sailors. *British Journal of Sports Medicine*, 10, 4-10.

X - ANEXOS

ANEXO 1: Informe del Comité de Ética.



UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA
SAN ANTONIO

COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

Universidad Católica San Antonio. Vicerrectorado de Investigación. Salda n° 6776 21/07/2017 13:37:12

DATOS DEL PROYECTO

Título:	"Análisis biomecánico de la técnica de sacar cuerpo en clase Laser 4.7 en navegación simulada: diferencias en función de la intensidad del viento, del bordo de navegación y del nivel de los regatistas"	
Investigador Principal	Nombre	Correo-e
Dr.	Alberto Encarnación Martínez	aencarnacion@ucam.edu

INFORME DEL COMITÉ

Fecha	21/07/2017
--------------	------------

Tipo de Experimentación

Investigación experimental clínica con seres humanos.	<input type="checkbox"/>
Utilización de tejidos humanos procedentes de pacientes, tejidos embrionarios o fetales.	<input type="checkbox"/>
Utilización de tejidos humanos, tejidos embrionarios o fetales procedentes de bancos de muestras o tejidos.	<input type="checkbox"/>
Investigación observacional con seres humanos, psicológica o comportamental en humanos.	<input checked="" type="checkbox"/>
Uso de datos personales, información genética, etc.	<input checked="" type="checkbox"/>
Experimentación animal.	<input type="checkbox"/>
Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o las plantas.	<input type="checkbox"/>
Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs).	<input type="checkbox"/>

Comentarios Respecto al tipo de Experimentación
Nada Obsta

Comentarios Respecto a la metodología de experimentación
Nada Obsta





COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

Sugerencias al Investigador

A la vista de la solicitud de informe adjunto por el Investigador y de las recomendaciones anteriormente expuestas el dictamen del Comité es:

Emitir informe favorable	<input checked="" type="checkbox"/>
Emitir informe desfavorable	<input type="checkbox"/>
Emitir informe favorable condicionado a subsanación	<input type="checkbox"/>

MOTIVACIÓN

Incrementará conocimientos en su área

Vº Bº El Presidente,

Fdo.: José Alberto Cánovas Sánchez



El Secretario,

Fdo.: José Alarcón Teruel

ANEXO 2: Consentimiento informado.

Yo,, con
DNI:.....

DECLARO:

Haber sido informado/a del estudio y procedimientos de la investigación del Proyecto titulado: “Efectos de la intensidad del viento, nivel de los regatistas, características antropométricas y bordo de navegación sobre la técnica sacar cuerpo y el rendimiento de la navegación en vela ligera: clase *Laser 4.7*”.

Los investigadores que van a acceder a mis datos personales y a los resultados de las pruebas son:

- Dr. Alberto Encarnación Martínez
- Dr. Francisco Segado Segado
- D. Ion Chicoy García

Asimismo, he podido hacer preguntas del estudio, comprendiendo que me presto de forma voluntaria al mismo y que en cualquier momento puedo abandonarlo sin que me suponga perjuicio de ningún tipo.

CONSIENTO:

1.-) Someterme a las siguientes pruebas exploratorias:

- Valoración antropométrica perfil restringido ISAK.
- Valoración curvaturas de la columna vertebral mediante Spinal Mouse.
- Valoración de la potencia del miembro inferior mediante test de salto.
- Valoración de la navegación en simulador.
- Valoración cinemática de la navegación.

2.-) El uso de los datos obtenidos según lo indicado en el párrafo siguiente:

En cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, le comunicamos que la información que ha facilitado y la obtenida como consecuencia de las exploraciones a las que se va a someter pasará a formar parte del fichero automatizado INVESALUD, cuyo titular es la FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN ANTONIO, con la finalidad de INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA EN LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO CIENCIAS EXPERIMENTALES Y CIENCIAS DE LA SALUD. Tiene derecho a acceder a esta información y cancelarla o rectificarla, dirigiéndose al domicilio de la entidad, en Avda. de los Jerónimos de Guadalupe 30107 (Murcia). Esta entidad le garantiza la adopción de las medidas oportunas para asegurar el tratamiento confidencial de dichos datos.

En Guadalupe (Murcia) a de de 2016

Los investigadores,

Alberto Encarnación Martínez

Ion Chicoy García

Fdo:.....

Fdo:.....

D/D^a Regatista (en caso de ser mayor de edad)

D/D^a Tutor del menor

Fdo:.....

Fdo:.....

ANEXO 3: Hoja informativa.**DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA SUJETOS SOMETIDOS A ESTUDIO
(HOJA INFORMATIVA)****1. EN QUÉ CONSISTE Y PARA QUÉ SIRVE:**

El objetivo del presente estudio es describir los factores que influyen en el rendimiento a la hora de sacar cuerpo en la clase *Laser* 4.7, los cuales se pretenden obtener a través del estudio de las características antropométricas, de fuerza explosiva del miembro inferior, cinemática de la técnica sacar cuerpo, curvaturas raquídeas y características de navegación a vela en simulador, de los regatistas de esta clase en la Región de Murcia.

Con este proyecto se pretende caracterizar la muestra de regatistas de nivel nacional y determinar si existen parámetros (de la composición corporal, fuerza explosiva y/o la navegación) relacionados con el rendimiento deportivo.

2. COMO SE REALIZA:

Se va a realizar una valoración antropométrica (perfil restringido ISAK), valoración de la fuerza explosiva mediante test de salto CMJ con plataforma de contactos y una valoración de la navegación a vela en simulador.

- Valoración antropométrica.

Material:

Para que el proceso se desarrolle de la manera más ágil posible se solicita al sujeto que se presente con un mínimo de vestimenta, para lo cual el uso de bañadores en el caso de los hombres y el uso de bañadores de dos piezas en el caso de las mujeres resulta ser la mejor opción. La vestimenta utilizada debe de tener un espesor mínimo y adaptarse a los contornos del cuerpo, para permitir el acceso a diferentes zonas del cuerpo para el registro de las medidas.

Procedimiento:

Las mediciones se realizarán en privado en una habitación separada o en un espacio reservado. Para ello la sala debe estar a una temperatura adecuada para que el participante se sienta cómodo.

A cada participante se le ofrece la posibilidad de que le acompañe un amigo o familiar, especialmente en el caso de niños. En algunas ocasiones las mediciones no pueden ser tomadas con exactitud (casos con piel extremadamente dura, gran adiposidad o lesiones), en estos casos se recomienda no llevar a cabo las mediciones para evitar errores potenciales y situaciones embarazosas. Se va a realizar la toma de datos para el perfil restringido ISAK que consta de 17 medidas corporales que se dividen en:

- 2 medidas básicas: masa corporal, estatura.
 - 8 pliegues cutáneos: tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo anterior, pierna medial.
 - 4 perímetros: brazo (relajado), brazo (flexionado y contraído), cintura (mínimo), glúteo (caderas).
- Valoración curvaturas raquídeas mediante Spinal Mouse.

El sujeto realizará los siguientes tests de flexibilidad, a través de los cuales se les medirá las curvaturas de la columna vertebral mediante el uso del instrumento Spinal Mouse:

- Bipedestación
 - Bipedestación autocorregida
 - Sit & Reach
 - Toe-touch
 - McRae & Wright
 - Flexión máxima del tronco en sedestación con rodillas extendidas
 - Sedestación relajada
- Valoración de la potencia del miembro inferior mediante test de salto.

Material:

El deportista tendrá que acudir a la valoración con ropa y calzado deportivo.

Procedimiento:

Previamente a la valoración, se realizará un calentamiento de 3-4 minutos en los que se realizarán ejercicios de movilidad articular, pequeños multi-saltos, trote suave y finalmente unos estiramientos. A continuación, se explicará la prueba al deportista y realizará suavemente el gesto hasta que se sienta confortable.

Una vez finalizado el calentamiento, el test de evaluación consiste básicamente en realizar tres saltos máximos en dirección vertical a pies juntos con el objetivo de alcanzar la máxima altura posible.

Entre cada uno de los saltos se dejará el tiempo suficiente para que el deportista no se fatigue entre salto y salto.

- Valoración navegación en simulador.

Material:

El deportista tendrá que acudir a la valoración con ropa y calzado deportivo.

Procedimiento:

Los sujetos realizarán un test de familiarización con la navegación a vela en simulador de 2 minutos, tras el cual llevarán a cabo un test en bordo de ceñida con una virada. Tanto en el bordo amurado a babor como en el bordo amurado a estribor se enfrentarán a 3 intensidades de viento distintas (10, 12 y 14 nudos). A la vez que realizan el test se medirá, mediante una célula de carga, la fuerza aplicada por los pies del sujeto sobre la cincha.

Dentro de estas mediciones entra la valoración cinética de la navegación. Mientras el sujeto realiza el test de navegación simulada, será grabado a través de un sistema de cámaras de 3D que reportarán información sobre ángulos adoptados por las articulaciones, movimientos del raquis y otras variables cinemáticas.

3. QUÉ EFECTOS LE PRODUCIRÁ:

Las mediciones como tal no conllevarán ningún efecto sobre el sujeto, salvo los propios de la actividad física (fatiga transitoria).

4. EN QUÉ LE BENEFICIARÁ:

Los resultados del proyecto aportarán información sobre las características y posibles variables relacionadas con el rendimiento deportivo en vela ligera, concretamente en la clase *Laser* 4.7. Dichos resultados permitirán conocer aquellos somatotipos relacionados con el rendimiento, aspecto que permitirá la selección y orientación de los entrenamientos en un futuro.

5. QUÉ RIESGOS TIENE:

5.1 LOS MÁS FRECUENTES:

Fatiga transitoria que desaparece en menos de 2 minutos.

5.2 LOS MÁS GRAVES:

No se han descrito riesgos graves para las valoraciones propuestas.

5. SITUACIONES ESPECIALES QUE DEBEN SER TENIDAS EN CUENTA:

No deberán ser atendidos atletas lesionados.

6. OTRAS INFORMACIONES DE INTERÉS (a considerar por el/la profesional)

Una vez finalizado el programa de entrenamiento y la valoración final, cada voluntario recibirá un informe personalizado de sus resultados.

7. OTRAS CUESTIONES PARA LAS QUE LE PEDIMOS SU CONSENTIMIENTO

El voluntario da también el consentimiento de utilización del material gráfico (fotos y videos) registrado durante las pruebas de valoración por parte de los miembros del Grupo de Investigación en Salud y Actividad Física, Fitness y Comportamiento Motor (GISAFFCOM), quienes se comprometen a realizar un uso divulgativo con carácter didáctico (clases, seminarios, congresos y publicaciones) y siempre sin causar perjuicio al voluntario.

ANEXO 4: Escala de Borg.



ESCALA DE ESFUERZO PERCIBIDO DE BORG

0	No se siente nada
1	Muy suave
2	Suave
3	Moderado
4	Algo fuerte
5	Fuerte
6	
7	
8	Muy Fuerte
9	
10	Esfuerzo máximo



Grupo de Investigación en Salud, Actividad Física,
Fitness y Comportamiento Motor.

ANEXO 5: Protocolo para mediciones de las curvaturas del raquis.

PROTOCOLO 1

EPR ACTIVO

PSOAS

DEDOS-SUELO

BIPEDESTACIÓN

BIPEDESTACIÓN AUTOCORREGIDA

EXTENSIÓN MÁXIMA BIPEDESTACIÓN

DEDOS-PLANTA

SEDESTACIÓN RELAJADA

MÁXIMA FLEXIÓN EN SEDESTACIÓN

EPR PASIVO

PROTOCOLO 2

EPR PASIVO

DEDOS-PLANTA

SEDESTACIÓN RELAJADA

MÁXIMA FLEXIÓN EN SEDESTACIÓN

DEDOS-SUELO

BIPEDESTACIÓN

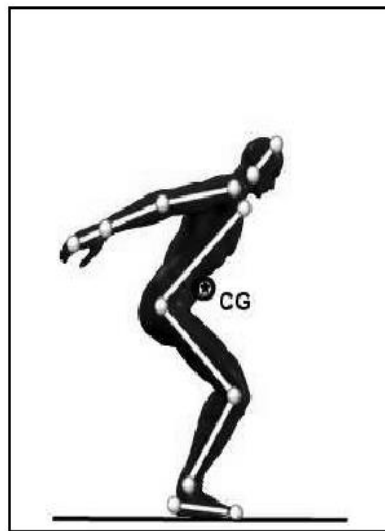
BIPEDESTACIÓN AUTOCORREGIDA

EXTENSIÓN MÁXIMA FLEXIÓN BIPEDESTACIÓN

EPR ACTIVO

ANEXO 6: Método simplificado para el cálculo de centros de gravedad por segmentos de forma indirecta (Gutierrez-Dávila,1998).

El método simplificado se compone de 8 segmentos definidos por 12 puntos anatómicos, en los cuales se colocarán los marcadores antes del comienzo de los test de navegación.



Segmentos

- Cabeza
- Tronco
- Antebrazo
- Brazo
- Mano
- Muslo
- Pierna
- Pie

Los puntos anatómicos se muestran a continuación y servirán de referencia a la hora de colocar los marcadores al sujeto. Además, se añadirá un marcador en cada extremo del barco para el cálculo de su centro de gravedad.

