

DISEÑO DE ERGÓMETRO PARA ENTRENAMIENTO DE ATLETAS DE ALTO
RENDIMIENTO DE LA LIGA SANTANDEREANA DE CANOTAJE DE
VELOCIDAD

FREDDY ALEXANDER GÓMEZ MARTÍNEZ
LUIS ALBERTO VACA RIVERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

DISEÑO DE ERGÓMETRO PARA ENTRENAMIENTO DE ATLETAS DE ALTO
RENDIMIENTO DE LA LIGA SANTANDEREANA DE CANOTAJE DE
VELOCIDAD

FREDDY ALEXANDER GÓMEZ MARTÍNEZ
LUIS ALBERTO VACA RIVERA

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director:
Diego Fernando Villegas Bermúdez
Ph.D. en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

A mi madre Rosa Helena que desde el cielo me brinda su apoyo.

A mi madre, Isme, que me ama como a un hijo, y que es el motivo de mis triunfos.

*A mi tío Fredys que me impulsó y ayudó a salir adelante con esta valiosa
profesión.*

*A los que siempre me han querido ver colmado de éxitos y aportaron un granito de
arena.*

Freddy Alexander Gómez Martínez

DEDICATORIA

A mi padre que siempre me guio hasta el día de su partida; a mi madre por sus esfuerzos sobrehumanos.

A mis hermanas y hermano que siempre estuvieron a la disposición en cualquier necesidad.

A todas esas personas que durante mi formación aportaron su buena energía y sus buenos anhelos.

Luis Alberto Vaca Rivera

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	23
2 OBJETIVOS	26
2.1 OBJETIVO GENERAL	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
3 MARCO TEÓRICO.....	27
3.1 MARCO CONCEPTUAL	27
3.1.1 Canotaje de Velocidad.	27
3.1.1.1 Canotaje de velocidad en Colombia.....	28
3.1.1.2 Liga Santandereana de Canotaje.....	29
3.1.2 Embarcaciones utilizadas en el deporte.....	29
3.1.3 Remada en kayak.	30
3.1.3.1 Ilustraciones de los puntos claves en el kayak.....	31
3.1.3.2 Biomecánica de la remada en kayak.....	32
3.1.4 Remada en canoa.....	33
3.1.4.1 Ilustraciones de los puntos claves en la base de la canoa.....	35
3.1.4.2 Biomecánica de la remada en canoa.	36
3.1.5 Características cinéticas y cinemáticas de ambas técnicas de remada.	37
3.1.5.1 Datos para kayak.	37
3.1.5.2 Datos para canoa.....	38

3.1.6	Ergometría.	38
3.1.7	Ergómetros para canotaje.	39
3.1.7.1	Partes de un kayak-canoa-ergómetro.	40
3.1.8	Alternativas de ergómetros disponibles en el mercado.	41
3.1.8.1	Mecanismo de resistencia por agua.	42
3.1.8.2	Mecanismo de resistencia por aire.	42
3.1.8.3	Mecanismo de resistencia por fricción.	43
3.2	MARCO DE ANTECEDENTES	44
3.2.1	Prueba ergométrica para kayakistas de alto nivel.	44
3.2.2	Máquina de Ejercicio para kayak.	45
3.2.3	Análisis de la técnica de kayak de tipo olímpico.	46
3.2.4	Estudio comparativo de los parámetros cinemáticos de la técnica del paleo	48
3.2.5	Ergómetro de kayak para pruebas y acondicionamiento en tierra seca.	50
4	PROCESO DE DISEÑO DEL ERGÓMETRO	52
4.1	PRE-FASE A: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE DISEÑO	52
4.1.1	Especificaciones del cliente y de diseño.	53
4.1.2	Ponderación de las especificaciones del cliente y parámetros de diseño.	54
4.2	FASE A: ESTUDIO A NIVEL CONCEPTUAL DEL DISEÑO.	55
4.2.1	Diseño conceptual.	56
4.2.3	Primera alternativa	58
4.2.4	Segunda alternativa: mecanismo de resistencia por fricción con base basculante.	60

4.2.5	Tercera alternativa: mecanismo de resistencia por fricción sin base basculante.....	61
4.2.6	Selección de la alternativa.	63
4.2.6.1	Análisis mediante la aplicación de la Matriz Pugh.....	63
4.2.6.2	Criterios para la evaluación de las diferentes alternativas.	63
4.3	FASE B: PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA	65
4.3.1	Especificaciones de la alternativa seleccionada	65
4.3.2	Dimensionamiento de la base.	66
4.3.2.1	Análisis dimensional de la remada de Canoa.	66
4.3.2.2	Definición de medidas del posapié trasero.....	68
4.3.2.3	Definición de medidas del punto de apoyo de la rodilla.	69
4.3.2.4	Definición de medidas del punto de apoyo del pie delantero.	70
4.3.3	Análisis dimensional de la remada en kayak.....	70
4.3.3.1	Definición de medidas del posapié del kayak.....	73
4.3.3.2	Definición de medidas de la silla para kayak.....	73
4.3.4	Dimensionamiento del bastidor.	74
4.3.5	Diseño del mecanismo de resistencia.	75
4.3.5.1	Mecanismo de retracción de la cuerda.....	76
4.3.5.2	Rodamiento de trinquete de bolas.....	77
4.3.6	Mecanismo de fricción.....	77
4.3.6.1	Resorte del mecanismo de fricción.	79
4.3.6.2	Zapata del mecanismo de fricción.....	80
4.3.6.3	Tornillo del mecanismo de fricción.	81
4.3.7	Disco de inercia.....	82

4.3.7.1	Valores de fuerza de entrada al sistema.....	82
4.3.7.2	Material del disco de inercia.....	83
4.3.7.3	Geometría del disco.....	84
4.3.8	Eje del disco de inercia.....	84
4.3.9	Rodamientos del disco de inercia.....	85
4.3.10	Accesorios, componentes adicionales.....	86
4.3.10.1	Tornillos mariposa para sujeción de accesorios.....	86
4.3.10.2	Pértiga de canoa y kayak.....	86
4.3.10.3	Cuerda para la conexión pértiga – mecanismo de resistencia.....	87
4.3.10.4	Banda tejida de fricción.....	87
4.3.11	Despliegue de la matriz AMEF.....	89
4.3.12	Costos de fabricación del diseño.....	92
4.4	FASE C: PLANOS DETALLADOS, HOJAS DE RUTA, ENSAMBLAJE 95	
4.4.1	Modelo CAD del ergómetro diseñado:.....	95
4.4.2	Modelo general del ergómetro diseñado.....	95
4.4.3	Subsistema de fricción.....	96
4.4.4	Disco de inercia y mecanismo de retorno de la cuerda.....	96
4.4.5	Bastidor y base.....	97
4.4.6	Ergómetro con accesorios de kayak.....	99
4.4.7	Ergómetro con accesorios de canoa.....	99
4.4.8	Disposición de la cuerda.....	100
4.4.9	Hojas de ruta de los principales componentes del diseño.....	100
4.4.9.1	Hoja de ruta del disco de inercia.....	102

4.4.9.2	Hoja de ruta del resorte en espiral.	103
4.4.9.3	Hoja de ruta del resorte helicoidal.	104
4.4.9.4	Hoja de ruta de la base.	105
5	CONCLUSIONES.....	106
6	RECOMENDACIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	ANEXOS.....	113

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Mecanismos rudimentarios para entrenamiento de técnica de Canoa y Kayak.....	21
Imagen 2. Deportista de canotaje de velocidad en modalidad Canoa	27
Imagen 3. Deportista de canotaje de velocidad en modalidad Kayak.....	28
Imagen 4. Selección Colombia de Canotaje, año 2017.	28
Imagen 5. Selección Santander de Canotaje, año 2018.....	29
Imagen 6. Canoa de competición de canotaje de velocidad.....	30
Imagen 7. Kayak de competición de canotaje de velocidad.	30
Imagen 8. Timelapse de la remada en Kayak.....	31
Imagen 9. Reposapiés del kayak marca Kirton.....	31
Imagen 10. Asiento de kayak marca Nelo en diferentes presentaciones.....	32
Imagen 11. Gestos técnicos en la remada de kayak.	33
Imagen 12. Timelapse de la remada en canoa.	34
Imagen 13. Ilustración de los puntos de apoyo sobre la canoa.	35
Imagen 14. Vista detallada superior de los puntos de apoyo sobre la canoa.	35
Imagen 15. Vista superior del canoísta.....	36
Imagen 16. Gestos técnicos en la remada de canoa.	37
Imagen 17. Diferentes ergómetros.....	39
Imagen 18. Diferentes ergómetros: canoa superior (a); dragon boat (b); kayak (c); canoa (d).....	40
Imagen 19. Esquema de las partes de un ergómetro de kayak.....	41
Imagen 20. Esquema de las partes de un ergómetro de canoa.....	41
Imagen 21. Mecanismo de resistencia por agua.....	42
Imagen 22. Mecanismo de resistencia por aire.....	43
Imagen 23. Mecanismo de resistencia por fricción de un biciergómetro.....	43
Imagen 24. Cabina del prototipo con soporte de gancho para el muslo plegado...46	
Imagen 25. Adaptador para la parte superior del cuerpo en la máquina de remo concept II.	46

Imagen 26. Gráfica de la comparación goniométrica de la palada del sujeto 2 con las fases de la palada indicadas.	47
Imagen 27. Puntos digitalizados en el estudio.	48
Imagen 28. Basculación de la cadera.	49
Imagen 29. Ángulo tronco-horizontal. Diferencias de variación del ángulo entre el paleo en ergómetro y el paleo en agua.....	49
Imagen 30. Ergómetro para kayak.	50
Imagen 31. Patrones de movimientos.....	51
Imagen 32. Pre-fase A. Análisis del diseño.	53
Imagen 33. Fase A: estudio a nivel conceptual del diseño.	56
Imagen 34. Vista lateral del modelo conceptual del bastidor.	56
Imagen 35. Vista superior del modelo conceptual del bastidor.	57
Imagen 36. Vista lateral y superior del modelo conceptual de la base basculante.	57
Imagen 37. Vista inferior del modelo conceptual de la base basculante.....	58
Imagen 38. Diseño conceptual del mecanismo de resistencia por aire.	59
Imagen 39. Diseño conceptual del mecanismo de resistencia por fricción.	60
Imagen 40. Diseño conceptual del mecanismo de resistencia por fricción sin base basculante.	62
Imagen 41. Fase B: parámetros de diseño del sistema.	65
Imagen 42. Remador a punto de iniciar la fase acuática de la remada en canoa. .	66
Imagen 43. Dimensiones requeridas para la base de canoa.	68
Imagen 44. Boceto del posapié trasero de la canoa con las dimensiones.....	69
Imagen 45. Boceto del apoyo de la rodilla	70
Imagen 46. Boceto del apoyo del pie delantero	70
Imagen 47. Remador a punto de iniciar la fase acuática de la remada en kayak. .	71
Imagen 48. Dimensiones requeridas para la base de kayak.	72
Imagen 49. Boceto del posapié del kayak con las dimensiones.	73
Imagen 50. Boceto de la silla para kayak	74
Imagen 51. Boceto del bastidor con las dimensiones características.	75

Imagen 52. Dimensiones del resorte.	76
Imagen 53. Rodamiento de trinquete de bolas.	77
Imagen 54. Mecanismo de fricción.	78
Imagen 55. Resorte del mecanismo de fricción.	80
Imagen 56. Condiciones geométricas de la zapata.	80
Imagen 57. Características geométricas del tornillo con perilla.	81
Imagen 58. Fuerzas que actúan en el disco de inercia.	83
Imagen 59. Geometría del disco de inercia.	84
Imagen 60. Características geométricas del eje.	85
Imagen 61. Rodamiento para el disco de inercia.	85
Imagen 62. Tornillos mariposa para sujeción de accesorios.	86
Imagen 63. Acople de las pértigas.	87
Imagen 64. Dimensiones de los tapones a usar.	87
Imagen 65. Cuerda de Nylon.	87
Imagen 66. Banda tejida que se usará en la zapata.	88
Imagen 67. Sección con dimensiones que se usará en la zapata.	88
Imagen 68. Modelo CAD del ergómetro diseñado sin accesorios.	95
Imagen 69. Modelo CAD del subsistema de fricción.	96
Imagen 70. Regla graduada del mecanismo de fricción.	96
Imagen 71. Modelo CAD del disco de inercia y mecanismo de retorno de la cuerda.	97
Imagen 72. Explosionado del disco de inercia y mecanismo de retorno de la cuerda.	97
Imagen 73. Modelo CAD del bastidor y la base.	98
Imagen 74. Modelo CAD del bastidor y la base.	98
Imagen 75. Explosionado de la base y el bastidor.	98
Imagen 76. Ergómetro diseñado con accesorios para kayak.	99
Imagen 77. Ergómetro diseñado con accesorios para canoa.	99
Imagen 78. Disposición de la cuerda en el ergómetro.	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Precios de kayak-ergómetros en diferentes empresas.	22
Tabla 2. Variables fisiológicas y de rendimiento en kayak registradas tanto en pruebas geométricas como en aguas planas.	45
Tabla 3. Matriz de ponderación de las especificaciones y requerimientos de diseño.	54
Tabla 4. Matriz de ponderación de las especificaciones y requerimientos de diseño con puntajes totales.	55
Tabla 5. Matriz de Pugh de evaluación de alternativas.....	63
Tabla 6. Valor de importancia ponderada por valor de prioridad.	64
Tabla 7. Convención de las dimensiones de la remada en canoa.	66
Tabla 8. Medidas de algunos remadores en el historial de la liga.....	67
Tabla 9. Medidas definidas para la base del ergómetro en modo canoa.....	68
Tabla 10. Dimensiones del posapié trasero de la canoa.	69
Tabla 11. Convención de las dimensiones de la remada en kayak.	71
Tabla 12. Medidas de algunos remadores en el historial de la liga.....	72
Tabla 13. Medidas definidas para la base del ergómetro en modo kayak.	72
Tabla 14. Dimensiones del posapié del kayak.....	73
Tabla 15. Dimensiones características del bastidor.....	74
Tabla 16. Características del resorte en espiral del mecanismo de retorno de cuerda.....	76
Tabla 17. Dimensiones del rodamiento de trinquete de bolas.	77
Tabla 18. Medidas características definidas para el resorte del mecanismo de fricción.	79
Tabla 19. Condiciones geométricas de la zapata.	81
Tabla 20. Características geométricas del tornillo con perilla.	82
Tabla 21. Valores de fuerza (kayak y canoa) de entrada al sistema.....	82
Tabla 22. Medidas de la geometría del disco de inercia.	84
Tabla 23. Características geométricas del eje.	85

Tabla 24. Matriz AMEF, Análisis Modal de Efectos y Fallos.	90
Tabla 25. Costos de fabricación del ergómetro diseñado.	93

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Cotización KayakPro.....	113
ANEXO B. Cotización Biotech.	113
ANEXO C. Cotización KayakFirst.	114
ANEXO D. Silla para kayak suministrada por la Liga Santandereana de Canotaje.	114
ANEXO E. Validación del ancho de la base del bastidor.	115
ANEXO F. Cálculos del mecanismo de retorno de la cuerda.	116
ANEXO G. Propiedades del acero AISI 1070.	118
ANEXO H. Resorte del mecanismo de fricción.	120
ANEXO I. Espesor de la zapata.....	121
ANEXO J. Fotografía del borrador de decisión sobre las fuerzas del ergómetro.	121
ANEXO K. Cálculos del radio del disco de inercia y de la constante del resorte.	122
ANEXO L. Cálculos del eje del disco.	125
ANEXO M. Rodamiento del disco de inercia.....	129
ANEXO N. Fotografía de las pértigas de kayak y canoa suministradas por la LSC.	131
ANEXO O. Ficha técnica de la cuerda de Nylon.....	132
ANEXO P. Cotizaciones de los diferentes elementos del ergómetro.....	133
ANEXO Q. PLANOS EN DETALLE DEL MODELO CAD DEL ERGÓMETRO....	134

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE ERGÓMETRO PARA ENTRENAMIENTO DE ATLETAS DE ALTO RENDIMIENTO DE LA LIGA SANTANDEREANA DE CANOTAJE DE VELOCIDAD*

AUTORES: FREDDY ALEXANDER GÓMEZ MARTÍNEZ, LUIS ALBERTO VACA RIVERA**

PALABRAS CLAVE: CANOTAJE, ERGÓMETRO, DISEÑO

DESCRIPCIÓN:

La presente investigación tiene como objetivo central el diseñar un ergómetro que cumpla con un conjunto de requerimientos, para su uso de entrenamiento en tierra de deportistas de la Liga Santandereana de Canotaje de Velocidad, que sea asequible sin sacrificar el rigor de exigencias y calidad.

Para el proceso de diseño se siguió la metodología de diseño utilizada por la NASA, llamada “NASA ESMD *Capstone Design Process*”, con el objetivo de obtener un diseño óptimo. Se definen las especificaciones por parte del cliente y requerimientos del diseño, así como se definen la ponderación de cada una de ellas. Mediante una Matriz de Relación, que muestra la relevancia de un parámetro con respecto a otro, se determinan los parámetros de mayor relevancia. Luego, el análisis mediante Matriz Pugh deja ver la relevancia que tiene cada uno de los criterios funcionales dentro del diseño, asimismo como define cuál es la alternativa que mejor los satisface.

La correcta definición del problema jugó un papel importante en la definición de los parámetros de diseño. La interacción directa con el entrenador de la Selección Santander de Canotaje, logró una constante retroalimentación con respecto a las necesidades del deporte. Se concluye con el diseño de un prototipo de ergómetro para el entrenamiento de canoa y kayak, atendiendo a las exigencias del cliente: económico, versátil, de esfuerzo variable, compacto.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ph.D. Diego Fernando Villegas Bermúdez.

ABSTRACT

TITLE: ERGOMETER DESIGN FOR TRAINING OF HIGH-PERFORMANCE ATHLETES OF THE SANTANDEREANA LEAGUE OF SPEED CANOEING*

AUTHORS: FREDDY ALEXANDER GÓMEZ MARTÍNEZ, LUIS ALBERTO VACA RIVERA**

KEY WORDS: CANOEING, ERGOMETER, DESIGN

DESCRIPTION:

The main objective of this research is to design an ergometer that meets a set of requirements for use in land training of athletes of the Santanderean League of Speed Canoeing, which is affordable without sacrificing the rigor of requirements and quality.

For the design process, the design methodology used by NASA, called "NASA ESMD Capstone Design Process", was followed in order to obtain an optimal design. Customer specifications and design requirements are defined, as well as the weighting of each one of them. By means of a Relationship Matrix, which shows the relevance of one parameter with respect to another, the most relevant parameters are determined. Then, the Pugh Matrix analysis shows the relevance of each of the functional criteria within the design, as well as defining the alternative that best satisfies them.

The correct definition of the problem played an important role in the definition of the design parameters. The direct interaction with the coach of the Santander Canoeing Team, achieved a constant feedback regarding the needs of the sport. We concluded with the design of a prototype ergometer for canoe and kayak training, meeting the client's requirements: economical, versatile, variable effort, compact.

* Bachelor Thesis.

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Ph.D. Diego Fernando Villegas Bermúdez.

INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con cerca de 1600 cuerpos de agua, clasificados como lagos, lagunas y embalses, los cuales contienen importantes reservas de agua utilizables¹, no sólo para el consumo o la industria, sino también para la práctica de deportes acuáticos. En el país se encuentran excelentes escenarios que se prestan para el desarrollo de deportes como: *wakeboard*, natación de aguas abiertas, remo, canotaje, entre otros, que se convierten en pasión y gloria para los colombianos.

La Ciénaga San Silvestre es el principal cuerpo de agua del Distrito Especial de Barrancabermeja, y es catalogada como “espejo de agua”, ideal para la práctica de Canotaje de Aguas Tranquilas, debido a que cumple con los requisitos exigidos por la Federación Internacional de Canotaje (FIC)². La Liga Santandereana de Canotaje (LSC) ha tomado la ciénaga como zona de entrenamiento y preparación para sus deportistas, según su entrenador y seleccionador Javier Pérez, desde el año 2004.

Desde entonces hasta hoy la LSC ha enfrentado dificultades, a las cuales ha logrado dar solución. Sin embargo, persisten algunos al día de hoy, como lo son: 1) las condiciones climáticas en ciertos periodos del año (temporada de lluvias), resultando en la cancelación de entrenamientos; 2) la delincuencia común que azota la zona donde está ubicado el centro de entrenamiento, ya que en diferentes ocasiones han hurtado elementos importantes en el desarrollo del deporte, como motores fuera de borda, botes y chalecos salvavidas, y, 3) la falta de implementos deportivos necesarios para el crecimiento contante; todas estas situaciones impiden la continuidad de los entrenamientos.

¹ GARCÍA, Martha, *et al.* Cuánta agua nos queda la oferta hídrica [en línea]. Colombia. 2012. p. 31 - 44. IDEAM. ISSN: 2256-3512. Disponible en: <https://bit.ly/388D4Jv>

² ICF. CanoeICF [sitio web]. Suiza. [Consultado: 04 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/7f7je>

En la actualidad, gracias al avance tecnológico, existen dispositivos mecánicos que emulan los gestos técnicos y movimientos durante el entrenamiento en agua³. Estos dispositivos se denominan ergómetros y funcionan para el entrenamiento de paquetes musculares usados directamente en el desarrollo de la práctica deportiva⁴. Cumplen con una importante función en el crecimiento del deportista en cuanto a su formación, siendo un excelente homólogo para la práctica de este deporte fuera del agua. Estos dispositivos no son comunes en el mercado, pero existe oferta de ellos; los precios son elevados y no se justifica la inversión, generando así una barrera entre la búsqueda del fortalecimiento del deporte y la mejora continua.

Por lo anterior, esta investigación pretende dar solución a esta serie de problemas, mediante el diseño de un dispositivo mecánico capaz de simular las condiciones apropiadas para la corrección de gestos erróneos y entrenamiento de la técnica; capaz de brindar una alternativa para el entrenamiento del deporte cuando las condiciones climáticas no se presten para un entrenamiento cotidiano, o bien sea como complemento de la práctica en agua, ya sea para kayak o canoa.

El impacto que deja ver la investigación no solo será de carácter científico e investigativo, sino que también será social y educativo, promoviendo la cultura del aprendizaje y fomentando el apoyo al deporte desde un enfoque multidisciplinar.

³ BARRIOS, Nidia. Análisis de la técnica de kayak de tipo olímpico en aguas tranquilas y su comparación con el movimiento realizado en ergómetro de kayak [en línea]. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2006. [Consultado: 03 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3830vEe>

⁴ CARRASCO, Luis. *Ergometric testing for top-level kayakers: validity and reliability of a discontinuous graded exercise test* [en línea]. Eslovenia. Universidad de Liubliana. 2010. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/25wi>

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La LSC le apuesta a la mejora continua, y dentro de sus objetivos está el crecimiento técnico de sus deportistas de alto rendimiento. Sin embargo, analizar la técnica de la remada con el deportista en el agua es complejo y costoso, pues habrá que personalizar el entrenamiento, debido a que es necesario un acompañamiento constante al deportista mientras este está remando. El entrenador, Javier Pérez, afirman que actualmente no cuentan con bote para asistir a los deportistas en agua, porque en diferentes ocasiones el motor fuera de borda ha sido hurtado por delincuentes locales⁵. Por ende, esto implica una inversión económica y de esfuerzos conjuntos, ya que actualmente el entrenador debe estar al pendiente de alrededor de ocho (8) a 10 remadores al mismo tiempo, actividad realizada desde la orilla de la ciénaga donde se entrenan. Esto último dificulta una observación detallada de la técnica de remada usada por el deportista, ya que en una conversación sostenida con Javier Pérez el 20 de octubre del 2020, aseguró que “a distancias mayores a 200 m de la orilla, no se percibe una imagen clara del remador ni del gesto técnico, dejando así vía libre para cometer errores en el desarrollo de la técnica del remador”.

Adicionalmente, por seguridad está prohibido estar dentro de la ciénaga cuando haya lluvia o amenaza de tormenta eléctrica⁶, lo que significa que en la época de lluvias (meses de abril a junio y de septiembre a noviembre) los entrenamientos se

⁵ DEL PILAR SEPÚLVEDA, Enoe. Ladrones hurtan la sede de la Liga de Canotaje [en línea]. En: Vanguardia Liberal. Barrancabermeja, 04 de marzo de 2014. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2HR32X6>

⁶ DIMOND, Alex. Los rayos y la seguridad en los deportes al aire libre: ¡cuando se oyen truenos no más juego! [en línea]. EEUU. 2020. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/fcd7d>

ven suspendidos debido a que se respeta esta regla, lo cual reduce significativamente los días de entrenamientos efectivos en el año.

Adicional a esto, por esta época (2020-2021) en la que se está viviendo una pandemia mundial⁷, se suspendieron los entrenos por casi cuatro (4) meses, atendiendo al llamado del Gobierno Nacional a restringir el contacto social⁸. Todo esto ha motivado a los deportistas a realizar entrenamiento en casa, donde de manera creativa han construido dispositivos rudimentarios que aparentemente funcionan para la práctica de la técnica de remada, tal como se aprecia en la imagen 1.

Imagen 1. Mecanismos rudimentarios para entrenamiento de técnica de Canoa y Kayak.



Fuente: suministrada por el deportista Omar Pinzón.

En Canotaje el entrenamiento bajo techo es parte esencial del proceso de formación y perfeccionamiento de un deportista. Los remadores usan equipos mecánicos especializados que se conocen como kayak-ergómetros, que básicamente son máquinas que ofrecen la posibilidad de entrenar aquellos músculos que se utilizan

⁷ ORGANIZACIÓN PARAMERICANA DE LA SALUD. La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia [en línea]. EEUU. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/35VLQrT>

⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 531 (8, abril, 2020). Por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por la pandemia del Coronavirus COVID-19, y el mantenimiento del orden público [en línea]. Santa Fe de Bogotá D.C.: El Ministerio, 2020. p. 16. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/37XDRx1>

durante el proceso de remar, ya sea de kayak o canoa fuera del agua⁹. El Secretario de la Federación Colombiana de Canotaje (FCC) Humberto Vargas León, informa que la Selección Colombia de Canotaje se ha dotado con tres (3) de estos dispositivos, de los cuales hoy existe uno en bodega y los otros dos se llevan a las concentraciones para el uso exclusivo de los deportistas de la Selección Colombia. Existe oferta de estos en diferentes mercados del mundo, principalmente europeos, tales como KayakPro¹⁰, Biotech Ergómetros¹¹, KayakFirst¹², entre otros. Las marcas y precios de estos ergómetros puestos en Colombia se registran en la Tabla 1, y cuyos soportes se pueden apreciar en los anexos A, B y C.

Tabla 1. Precios de kayak-ergómetros en diferentes empresas.

Empresa	Detalles	Precio*	
KayakPro	Se debe comprar un ergómetro para cada bote.	6470 USD	≈ 25.000.000 COP
Biotech Ergómetros	Se debe comprar un ergómetro para cada bote.	4000 USD	≈ 14.566.000 COP
KayakFirst	Se debe comprar un ergómetro para cada tipo de bote y agregar algunos accesorios.	8361 EUR	≈ 37.800.000 COP

*Los precios aquí evidenciados fueron cotizados el día 02 de noviembre del 2020 y no incluyen impuestos por nacionalización.

Como se logra evidenciar, el costo es elevado y genera una barrera de entrada que ha impedido a la liga de canotaje su adquisición, por tanto, se cohíben de comprarlos, ya que no se justifica la millonaria inversión.

⁹ BARRIOS, Op. cit., p. 3.

¹⁰ KAYAKPRO. KayakPro [sitio web]. EEUU. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3jLYjTV>

¹¹ BIOTECH ERGÓMETROS. Biotech Ergómetros [sitio web]. Argentina. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/8uynd>

¹² KAYAKFIRST. KayakFirst [sitio web]. Hungría. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3eehjce>

Todo esto motiva a buscar una pronta solución, la cual, desde el perfil de la ingeniería mecánica, permita diseñar e implementar un dispositivo mecánico que pueda usarse para suplir las necesidades de la Liga Santandereana de Canotaje, con la restricción de ser más económico que las opciones actuales.

Lo que se describe anteriormente presenta las siguientes preguntas: ¿cuál es la forma adecuada de diseñar un kayak-ergómetro y qué tipo de mecanismo usar para simular la resistencia que ofrece el agua durante la remada, de manera que pueda ser asequible para la Liga Santandereana de Canotaje?

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Al diseñar este dispositivo mecánico eficaz y asequible a la comunidad deportiva de Canotaje, se logra resaltar su componente económica y social, pues se pretende diseñar una herramienta de bajo costo comparado con los que hay en el mercado, y además se demuestra también que en Colombia existe la capacidad de contribuir al avance científico, biomecánico y deportivo, generando estimulación dentro de la comunidad ingenieril, promoviendo la creación de nuevas y mejores alternativas de entrenamiento, como es el caso del kayak-ergómetro, que mediante la intervención de la ingeniería y con implementos e insumos nacionales se buscará llevar a cabo.

Se trata de una máquina que simula el movimiento de la remada ya sea en kayak o canoa. La resistencia se produce, por lo general, a través de una turbina de desplazamiento de aire que simula las dinámicas del agua¹³, a su vez que aporta al desarrollo deportivo del usuario. El mecanismo es esencial en el proceso de deportistas tanto profesionales como novatos, pues para estos últimos es mucho

¹³ *Archivos de medicina del deporte* [en línea]. Murcia (España): Sociedad Española de Medicina del Deporte. 2016, nro. 33, 1. [Consultado: 02 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2HUZB1E>. ISSN: 0212 8799.

más seguro aprender la técnica de remado en tierra y posteriormente experimentar en agua.

El uso del kayak-ergómetro representa un homólogo muy acertado para la sustitución del entrenamiento acuático de canotaje¹⁴; este dispositivo permite que el deportista entrene los músculos usados específicamente durante la conducción del bote, ya que se simula el movimiento del remo y la resistencia del agua a lo largo de la remada¹⁵. La importancia del entrenamiento de estos paquetes musculares se ha corroborado de manera científica, realizando comparaciones entre modelos reales y digitales, categorizando y determinando el aporte en porcentaje de cada sección del cuerpo (superior, tronco e inferior), mostrando evidencia que es primordial para el fortalecimiento colectivo de estos paquetes dentro y fuera del agua¹⁶, resaltado de nuevo una de las ventajas que entrega el uso del ergómetro para los deportistas de la Liga Santandereana de Canotaje: entrenamiento específico de músculos usados al remar.

Adicionalmente, se resalta que este dispositivo permitirá la continuidad del entrenamiento sin importar las condiciones climáticas, pues la práctica se podrá dar dentro de las instalaciones del Centro de Deportivo.

Las ventajas principales que se pueden inferir de lo anterior son:

- Mejoramiento técnico del deportista, guiada mediante el análisis del entrenador.

¹⁴ BARRIOS CABALLERO, Nidia. Análisis de la técnica de kayak de tipo olímpico en aguas tranquilas y su comparación con el movimiento realizado en ergómetro de kayak [en línea]. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2006. p. 6. [Consultado: 03 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3830vEe>

¹⁵ BARSOLOU, Miriam, *et al.* *Kayak exerciser machine* [en línea]. Boston (EEUU). 2006. MIM U701-702. [Consultado: 03 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/35YXWAI>

¹⁶ NAKASHIMA, Motomu, ITO, Shota y NAKAGAKI, Kohei. *Simulation of sprint canoe paddling* [en línea]. Tokyo (Japón). *International Sports Engineering Association*. 2019. p. 1. [Consultado: 03 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2l4pkox>

- Alternativa viable de entrenamiento cuando no sea posible entrenar de manera cotidiana, o también, como complemento del entrenamiento en agua.
- Entrenamiento específico de los músculos encargados del esfuerzo y destreza motriz del deportista.
- Dispositivo mecánico eficaz y de bajo costo, útil para el crecimiento deportivo de la Liga Santandereana de Canotaje.

Es notable lo beneficioso que es poseer equipos para entrenamiento en tierra, lo cual surge como un problema que se puede solucionar mediante lo tratado en la presente investigación: “diseño de ergómetro para entrenamiento de atletas de alto rendimiento de la Liga Santandereana de Canotaje de Velocidad”.

A manera de condensar todo lo dicho, se pretende brindar una solución económica al problema; el proyecto es relevante, ya que resulta en el diseño un dispositivo mecánico que será capaz de simular las condiciones reales que experimenta un deportista al remar, mejorando así la calidad del entrenamiento para el análisis de la técnica de remada, y para la realización de ejercicios donde se exija al deportista y se logre un fortalecimiento físico específico e integral.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un ergómetro que cumpla con un conjunto de requerimientos, para su uso de entrenamiento en tierra de deportistas de la Liga Santandereana de Canotaje de Velocidad, que sea asequible sin sacrificar el rigor de exigencias y calidad.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar digitalmente un ergómetro que sea económico, versátil, de intensidad variable y compacto.
2. Definir el plan de manufactura de los principales elementos que componen el diseño.
3. Crear digitalmente animaciones donde se aprecien los ensambles de los subsistemas del diseño.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Canotaje de Velocidad. El Canotaje de Velocidad se compite en aguas tranquilas, en carriles de 6 a 10 metros de ancho, limitados por boyas ubicadas en línea recta, con 200, 500 y 1000 metros de extensión. Estos eventos se diferencian por el número de atletas en las embarcaciones (uno, dos o cuatro deportistas) y por el tipo de barco utilizado (canoa o kayak)¹⁷.

Las canoas son barcos abiertos, en que los competidores se apoyan sobre una rodilla y utilizan palas de una hoja¹⁸ (véase imagen 2). Mientras que los kayaks poseen un espacio para que los competidores se sienten mientras reman, utilizando una pala de dos hojas que tocan el agua alternadamente¹⁹ (véase imagen 3).

Imagen 2. Deportista de canotaje de velocidad en modalidad Canoa



Fuente: Liga Santandereana de Canotaje.

¹⁷ DEPORTES ACUÁTICOS. Piragüismo: historia, modalidades... [en línea]. España. 2012. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/jxmr2>

¹⁸ KRUSE, Melanie. Diferencia entre kayak y canoa y piragua [en línea]. España. 2010. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/j2gpi>

¹⁹ *Ibíd.*

Imagen 3. Deportista de canotaje de velocidad en modalidad Kayak.



Fuente: Liga Santandereana de Canotaje.

3.1.1.1 Canotaje de velocidad en Colombia. Este deporte es relativamente reciente en Colombia, ya que la Federación Colombiana de Canotaje fue fundada en el año 2000²⁰, y que actualmente cuenta con nueve (9) ligas departamentales, que son: Antioquia, Valle, Cundinamarca, Bogotá, Huila, Boyacá, Choco, Santander y Córdoba. Sin embargo, a pesar de su corta trayectoria, los últimos ocho años ha conseguido resultados significativos que lo ha llevado a posicionarse como unos de los países con alto nivel en la zona.

Imagen 4. Selección Colombia de Canotaje, año 2017.



Fuente: Federación Colombiana de Canotaje. Disponible en: <https://n9.cl/pcpt>

²⁰ FCC. Federación Colombiana de Canotaje [en línea]. Colombia. 2018. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/pcpt>

3.1.1.2 Liga Santandereana de Canotaje. En el año 2006 se da inicio a los entrenamientos del nuevo deporte en Santander, y en el 2008 se oficializa a Barrancabermeja como la sede principal de la Liga Santandereana de Canotaje de Velocidad²¹. Desde entonces han logrado diferentes títulos a nivel nacional e internacional. Los entrenamientos se realizan en la sede de la Liga, la cual se ubica en una zona aledaña de la ciénaga San Silvestre.

Imagen 5. Selección Santander de Canotaje, año 2018.



Fuente: Liga Santandereana de Canotaje.

3.1.2 Embarcaciones utilizadas en el deporte. En canotaje de velocidad se utilizan dos tipos de embarcaciones: kayak y canoa. Existen diferencias entre estos dos barcos, adicional a las que ya se han mencionado, ya que en el kayak el remador palea por ambos lados del barco, al igual que posee una quilla para la corrección fácil de la dirección. El kayak resulta más estable que la canoa, pues el remador se encuentra más cerca del agua.

²¹ HURTADO ISAZA, Julia. Somos la sede de la Liga Santandereana de Canotaje [en línea]. En: *Vanguardia*. Barrancabermeja. Octubre 30 del 2008. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/sime>

Imagen 6. Canoa de competición de canotaje de velocidad.



Fuente: *Plastex Boats, Kayak's*. Disponible en: <https://n9.cl/ilph>

Imagen 7. Kayak de competición de canotaje de velocidad.



Fuente: *Plastex Boats, Canoa's*. Disponible en: <https://n9.cl/1vec>

3.1.3 Remada en kayak. El remador va sentado sobre la embarcación y la remada es bilateral. La remada se puede dividir en cuatro fases²², las cuales se especifican a continuación:

1. **Ataque:** momento de máxima largada de la remada, justo antes de entrar al agua e iniciar la tracción. Se debe llevar a cabo en el menor tiempo posible con relación al tiempo completo de la remada.
2. **Tracción:** durante esta fase el remo está dentro del agua de principio a fin, se hace rápidamente y con fuerza. Como resultado se obtiene la mayor velocidad del bote durante esta etapa.

²² BARRIOS, Op. cit., p. 8.

3. **Salida:** esta fase se inicia cuando el codo del brazo de arrastre (el lado sumergido del remo) alcance la altura de la cadera del lado del empuje.
4. **Retorno al ataque:** luego de que la pala salga del agua se procede a llevarla hasta la posición de ataque. En esta fase no se aporta al desplazamiento del kayak ya que la pala está por fuera del agua, por lo que debe hacer lo más rápido posible.

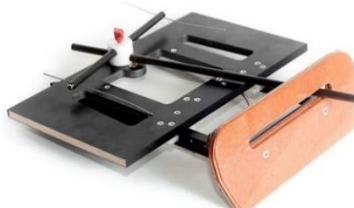
Imagen 8. Timelapse de la remada en Kayak



Fuente: CASIOPEA. Investigación en kayak. Disponible en: <https://n9.cl/a8cl>

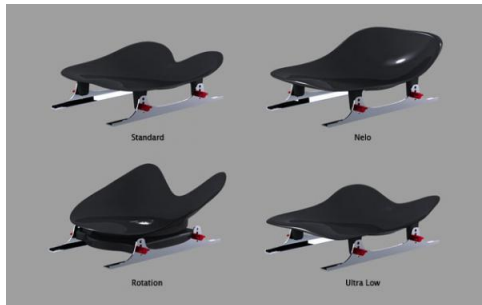
3.1.3.1 Ilustraciones de los puntos claves en el kayak. Dentro del kayak existen dos puntos clave para el apoyo del remador, que son: reposapiés, usado no solo para el apoyo sino también para el control de la dirección del bote; asiento, donde el deportista reposa su cuerpo. Se aprecia en imágenes:

Imagen 9. Reposapiés del kayak marca Kirton.



Fuente: KIRTON KAYAKS LTD. Disponible en: <https://n9.cl/xcfw>

Imagen 10. Asiento de kayak marca Nelo en diferentes presentaciones



Fuente: Nelo. Disponible en: <https://n9.cl/foz67>

3.1.3.2 Biomecánica de la remada en kayak. Dentro de la biomecánica de la remada en kayak se presentan los siguientes aspectos: paquetes musculares usados, movimientos realizados y técnica de paleo.

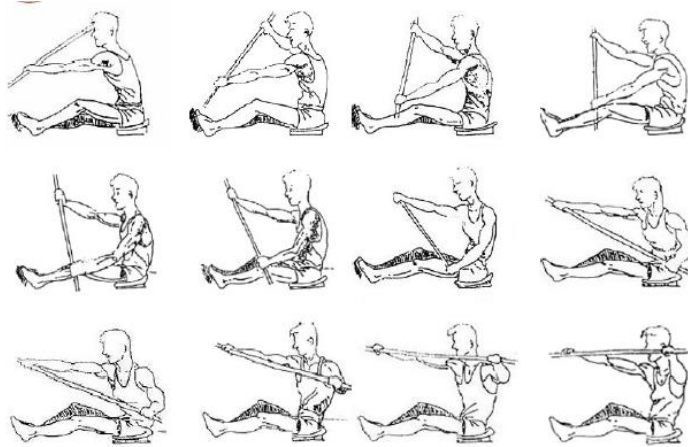
- **Paquetes musculares usados:** Pese a que la práctica de kayak supone una actividad física de la mayoría del cuerpo²³, existen cuatro músculos que son los principales durante la remada, distribuidos en tres (3) grupos que son las extremidades superiores, tronco y extremidades inferiores. Del primer grupo se destacan los *tríceps braquiales* y *deltoides anterior*, que se encargan de extender el codo y flexionar el hombro, respectivamente. El segundo grupo se encuentra el *latissimus*, que extiende el hombro y rota el tronco. De las extremidades inferiores se destaca el *vastus lateralis* que funciona como apoyo durante la tracción, extendiendo la rodilla. Todos estos músculos son usados durante la tracción, conjugándose y aportando en diferentes proporciones al impulso del kayak²⁴.

²³ Aloha Sports. Los músculos que se trabajan haciendo kayak [en línea]. España. 2018. [Consultado: 14 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/nffhe>

²⁴ FLEMING, Neil, *et al.* Una evaluación biomecánica de la especificidad de la tarea del ergómetro en kayakistas de aguas tranquilas de élite. Irlanda. Revista de Medicina y Ciencias del Deporte. 2011. pp. 20. PMID: 24149118. p. 2.

- **Movimientos realizados, gestos técnicos:** Dentro de las explicaciones previas se describieron las fases de la remada en kayak, en el siguiente esquema se muestran algunos gestos de la remada en kayak.

Imagen 11. Gestos técnicos en la remada de kayak.



Fuente: *Kayak Sport Canada*. Disponible en: <https://n9.cl/ti9k8>

3.1.4 Remada en canoa. El remador va arrodillado en una de sus piernas sobre la embarcación y la remada es unilateral. El lado del que rema el deportista dependerá de la pierna que use de apoyo. La remada, al igual que en kayak, se puede dividir en cuatro fases²⁵, las cuales se especifican a continuación:

1. **Ataque:** momento de máxima largada de la palada, justo antes de entrar al agua e iniciar la tracción. Se debe llevar a cabo en el menor tiempo posible con relación al tiempo completo de la remada.
2. **Tracción:** durante esta fase el remo está dentro del agua de principio a fin, se hace rápidamente y con fuerza. Como resultado se obtiene la mayor velocidad del bote durante esta etapa.

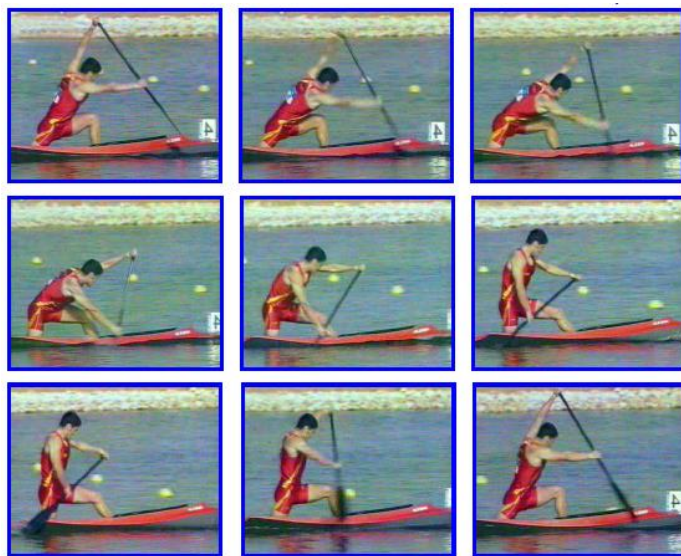
²⁵ ALACID CÁRCELES, Fernando. Enseñanza del piragüismo: técnica de paleo en canoa. España. 2007. pp. 6. [Consultado: 18 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/hcnbb>

3. **Salida:** esta fase se inicia cuando el brazo de arrastre (el que hala la pala) alcance la posición vertical. En este movimiento se le da un ligero giro para corregir la dirección de la embarcación.

4. **Retorno al ataque:** luego de que la pala salga del agua se procede a llevarla hasta la posición de ataque. En esta fase no se aporta al desplazamiento de la canoa ya que la pala está por fuera del agua, por lo que debe hacer lo más rápido posible.

Cada fase de la remada, aérea y acuática, representa un gesto técnico y estos se entrenan con la intención de perfeccionar. A continuación, se observa un *timelapse* del remador español David Cal Figueroa²⁶ compitiendo en los Juegos Olímpicos Atenas 2004.

Imagen 12. Timelapse de la remada en canoa.

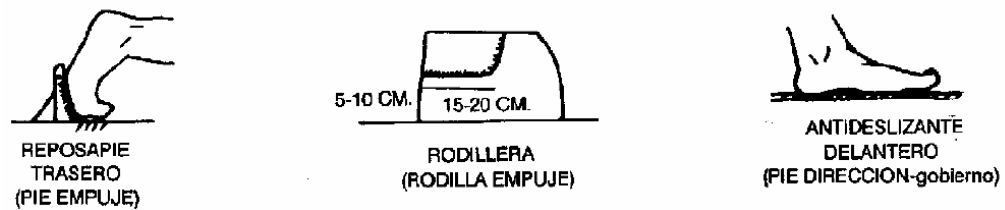


Fuente: TVUS. Técnica básica de paleo en canoa en aguas tranquilas [en línea]. Disponible en: <https://n9.cl/w4c1>

²⁶ UCAM, Universidad Católica de Murcia. David Cal Figueroa [en línea]. España. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/92ah>

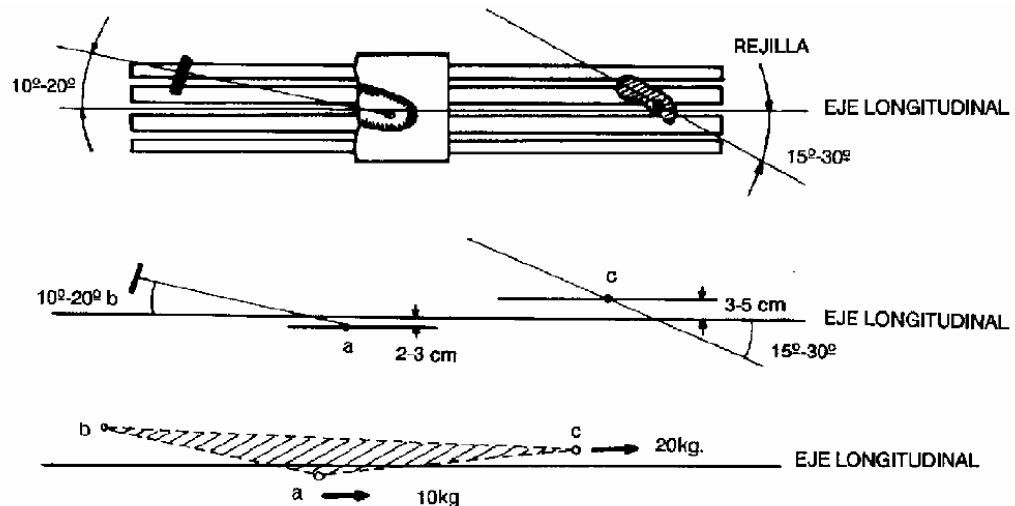
3.1.4.1 Ilustraciones de los puntos claves en la base de la canoa. La base o tabla de la canoa tiene tres puntos clave de apoyo, que son: reposapiés trasero (pie de empuje), rodillera (rodilla de empuje), antideslizante delantero (pie de apoyo-gobierno). Esto se puede apreciar en las siguientes imágenes:

Imagen 13. Ilustración de los puntos de apoyo sobre la canoa.



Fuente: Técnica de paleo en Canoa. p. 3. Disponible en: <https://n9.cl/hcnbb>

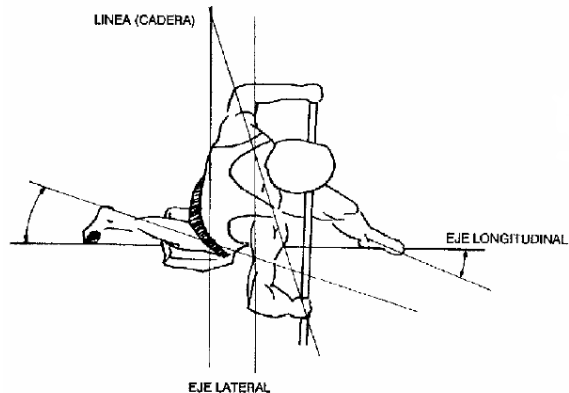
Imagen 14. Vista detallada superior de los puntos de apoyo sobre la canoa.



Fuente: Técnica de paleo en Canoa. p. 4. Disponible en: <https://n9.cl/hcnbb>

En la siguiente imagen se puede apreciar una vista superior del remador sobre la base de la canoa.

Imagen 15. Vista superior del canoísta.



Fuente: Técnica de paleo en Canoa. p. 5. Disponible en: <https://n9.cl/hcnbb>

3.1.4.2 Biomecánica de la remada en canoa. Dentro de la biomecánica de la remada en canoa se presentan los siguientes temas: paquetes musculares usados, movimientos realizados y técnica de paleo.

- **Paquetes musculares usados:** Durante las fases de remada mencionadas con anterioridad, se destacan los aportes porcentuales, evaluados por Nakashima²⁷, aportados por cada uno de los paquetes musculares. Se dividen en tres grupos: 1) extremidades superiores; 2) extremidades inferiores, y, 3) tronco. En el mismo orden en que fueron numerados, los aportes durante la fase de ataque son de: 14 %, 63 %, 23 %; fase de tracción: 54 %, 30 %, 16 %; fase de retorno al ataque: 7 %, 30 %, 63 %. Destacando así la importancia que tiene cada uno de estos durante la remada en canoa.
- **Movimientos realizados, gestos técnicos:** Dentro de las explicaciones previas se describieron las fases de la remada en canoa, en la siguiente imagen se muestran algunos gestos de la remada en canoa.

²⁷ NAKASHIMA, Motomu, ITO, Shota y NAKAGAKI, Kohei, Op. cit., p. 8.

Imagen 16. Gestos técnicos en la remada de canoa.



Fuente: Técnica de paleo en Canoa. p. 6. Disponible en: <https://n9.cl/hcnbb>

3.1.5 Características cinéticas y cinemáticas de ambas técnicas de remada.

Luego de una revisión bibliográfica se logró encontrar información útil para establecer parámetros principales que servirán para el diseño. Las fuerzas y velocidades experimentadas en las remadas, ya sea de kayak o canoa, son de vital importancia en cuando a diseño se refiere. Diferentes artículos muestran cómo determinar dichas fuerzas de manera analíticas, mientras que otros las determinaron con ayuda de sensores puestos en las palas o software de simulación.

3.1.5.1 Datos para kayak. En el artículo “una evaluación biomecánica de la especificidad de la tarea del ergómetro en kayakistas de aguas tranquilas de élite²⁸”, en el que 10 kayakistas fueron voluntarios en una investigación que evaluaba biomecánicamente la especificidad de la tarea del ergómetro en deportistas de alto rendimiento. Los remadores tenían alturas promedio de 180 ± 0.06 m, con masas corporales promedio de 73.5 ± 6.2 kg. Se probaron en kayak en

²⁸ FLEMING, Neil, et al, Op. cit., p. 3.

agua y en kayak-ergómetro remando la distancia de 500 m. La fuerza máxima promedio obtenida en el agua fue de 238 ± 22 N (pico de 280 N).

Sin embargo, en otro artículo titulado “evolución dinámica y cinemática sobre 200m en kayakistas senior de aguas tranquilas²⁹”, donde cinco (5) remadores hombres hicieron la prueba de los 200 m, arrojando valores promedios de velocidad y fuerzas de 4.84 ± 0.08 m/s (pico de 4.92 m/s) y 267.00 ± 54.01 N (pico de 321.01 N).

Por otro lado, Baker J³⁰ registró valores picos más altos en la carrera masculina de kayak en 1000 m, con un valor de 375 N, durante las mediciones en el agua de los remadores de kayak de la Selección Australiana.

3.1.5.2 Datos para canoa. Según el artículo “*the on-water instrumentation of a sprint canoe paddle*³¹”, para un deportista de 1.88 m de altura y 86.2 kg, remando con una pala de 1.68 m, de 24 cm de ancho y 50 cm de largo, en una canoa Nelo C1 Quattro XL (5.2 m de largo y 0.44 m de ancho), se obtuvo un valor pico de fuerza y velocidad de 257 N y 3.95 m/s, respectivamente, para carreras de 1000 m (*fund*), y de 337 N y 4.19 m/s para carreras de 200 m (*sprint*).

3.1.6 Ergometría. Este término se refiere al conjunto de métodos que pueden cuantificarse para la medición de capacidad de trabajo físico de una persona³². El ergómetro es el instrumento utilizado para medir la cantidad de trabajo ejecutada

²⁹ PÉREZ, Sergio; LORENZO, Héctor y GARCÍA, Luis. Evolución dinámica y cinemática sobre 200m en kayakistas senior de aguas tranquilas [en línea]. Vigo, España. Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física (FEADEF). 2015. p. 3. ISSN: 1988-2041. [Consultado: 3 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/vgsqm>

³⁰ BAKER, John. *Evaluation of biomechanical performance related factors with onwater tests* [en línea]. Vrijens J. *Proceedings of an International Seminar on Kayak-Canoe Coaching and Science. Ghent, Belgium: International Canoe federation.* 1998. p. 50-66. [Consultado: 23 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/n9fd>

³¹ CAMERON, Galipeau. *The on-water instrumentation of a sprint canoe paddle* [en línea]. Canadá. 2018. *McMaster University. Department of Mechanical Engineering.* p. 61. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/xj4un>

³² Redacción Médica. Ergometría [en línea]. España. 2020. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/12g0>

por un músculo o un grupo de músculos, asimismo este dispositivo puede ser usado para entrenar aquellos paquetes musculares que se utilizan durante un ejercicio en particular³³. Los ergómetros más comunes son los cicloergómetros y remoergómetros.

Imagen 17. Diferentes ergómetros



Fuente: Instituto Internacional de Ciencias del Ejercicio Físico y Salud. Disponible en: <https://n9.cl/svqy>

3.1.7 Ergómetros para canotaje. Siguiendo la metodología de la correspondencia dinámica, donde se definen “ejercicios especiales” a todos aquellos que están enfocados en el perfeccionamiento de la técnica y de las cualidades motoras del deportista, que se ejecutan en el movimiento competitivo fundamental de algún deporte en particular³⁴.

En el canotaje, es el ergómetro el que debe permitir que el deportista adopte la misma postura que tuviera en el bote³⁵ (ver imagen 18), donde las remadas se realizan mediante pértigas (sin hojas), a su vez que estas están unidas al

³³ CuidatePlus. Ergómetros para entrenamientos a medida [en línea]. España. 2002. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/4ura>

³⁴ DFdeportes. La preparación física especial [en línea]. Cuba. 2004. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/zg65>

³⁵ BARRIOS, Op. cit., p. 10.

mecanismo que genera la resistencia mediante cuerdas, y dicha resistencia puede ser variable o constante, dependiendo del requerimiento del entrenamiento.

Imagen 18. Diferentes ergómetros: canoa superior (a); dragon boat (b); kayak (c); canoa (d).



Fuente: KayakFirst, ergómetros. Disponible en: <https://n9.cl/qofun>

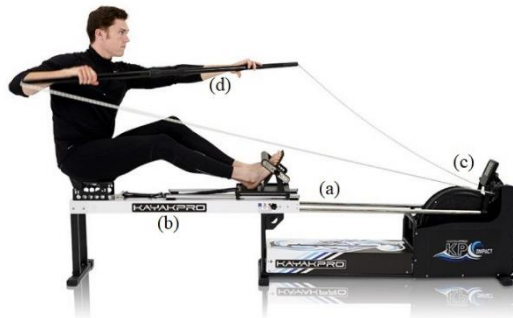
El entrenamiento en un ergómetro proporciona una alternativa al entrenamiento regular en agua, con el limitante de que para que sea válido, es necesario que el equipo usado simule el movimiento ideal realizado sobre el agua y que desafía de manera similar el sistema cardiovascular del deportista³⁶. En citas anteriores se ha evidenciado la existencia de múltiples estudios que dan valor a la eficacia de un entrenamiento en ergómetro (de kayak y canoa) en comparación con el desempeño en aguas tranquilas.

3.1.7.1 Partes de un kayak-canoa-ergómetro. Un ergómetro para el entrenamiento de canoa o kayak consta de cuatro (4) subsistemas elementales, que son: 1) marco o estructura rígida (a); 2) plataforma basculante con posapié trasero para canoa, fija y con posapié delantero para kayak (b); 3) sistema generador de resistencia: aire, agua, fricción (c); 4) pértiga con dos cuerdas para kayak, una para

³⁶ DAVIS, S; GARVIN, E y CALLAGMAN, C. *Validity and test-retest reliability of the staimaster crossrobics. Medicine a Science in Sports and Exercise.* 1996. Vol. 28.

canoa (d). Todo esto puede apreciarse en el par de imágenes (19 y 20) mostradas a continuación.

Imagen 19. Esquema de las partes de un ergómetro de kayak



Fuente: ergómetro *kayak compact* KayakPro. Disponible en: <https://n9.cl/y1oql>

Imagen 20. Esquema de las partes de un ergómetro de canoa.



Fuente: ergómetro *canoe compact* KayakPro. Disponible en: <https://n9.cl/zsza>

3.1.8 Alternativas de ergómetros disponibles en el mercado. El desafío que supone el diseño del ergómetro para canotaje, se centra en el mecanismo que genera la resistencia. Todos los ergómetros que actualmente se encuentran en el mercado tienen ligeras variaciones en cuanto a su apariencia, sin embargo, poseen mecanismos generadores de resistencia de diferentes tipos, tal como veremos a continuación:

3.1.8.1 Mecanismo de resistencia por agua. Mediante un rotor sumergido parcialmente en agua, tal como se muestra en la siguiente imagen, se produce la resistencia en un ergómetro de remo. La variación de la resistencia se produce al aumentar la cantidad de agua dentro de la cámara. El agua tiene la propiedad de que, a mayor esfuerzo aplicado, este se transforma en un aumento en la resistencia. Puede considerarse una ventaja la sensación que provoca que el fluido de resistencia sea agua, pues se acerca a la realidad.

Imagen 21. Mecanismo de resistencia por agua.



Fuente: ROCFIT. Ventajas de la máquina de remo de agua frente al remo tradicional. Disponible en: <https://n9.cl/e72s>

Supone un problema el hecho de que cada vez que se use se deba llenar y vaciar el tanque, y esto pudiera incomodar al usuario. El ergómetro a simple vista parece espacioso tanto a lo largo como a lo ancho. Sin embargo, este mecanismo puede homologarse para un kayak o canoa ergómetro, haciendo las modificaciones necesarias dentro del mecanismo de transmisión.

3.1.8.2 Mecanismo de resistencia por aire. Este sistema de resistencia de aire proporcional al esfuerzo tiene un funcionamiento sencillo: la salida de aire es regulable, se ajusta para que salga menos aire, aumentando de esta manera la resistencia de la simulación. Es el mecanismo común dentro de los ergómetros

existentes para el entrenamiento del canotaje de velocidad, ya que es un diseño que se presta para ser compacto y ligero.

Imagen 22. Mecanismo de resistencia por aire.



Fuente: KayakPro. Ergómetro de canoa. Disponible en: <https://n9.cl/e74al>

3.1.8.3 Mecanismo de resistencia por fricción. El mecanismo encargado de generar la resistencia en los biciergómetros (bicicletas estáticas) funciona mediante un disco de inercia y un freno, este último es comúnmente una banda rugosa que entra en contacto con la superficie del disco, generando una fuerza opuesta al sentido del movimiento. La tensión de dicha banda influirá en la resistencia que proporcione el mecanismo, ya que, a mayor tensión, mayor será la fuerza que haya que aplicar para hacer mover el disco.

Imagen 23. Mecanismo de resistencia por fricción de un biciergómetro.



Fuente: *Spinning House*. Bicicleta estática con disco de inercia. Disponible en: <https://n9.cl/s8w8>

El disco de inercia es macizo, lo que lo hace pesado. El desgaste de estas bandas hará que la resistencia del dispositivo sea variable en el tiempo. Pudiera esto representar un costo elevado, comparado con las otras dos alternativas.

3.2 MARCO DE ANTECEDENTES

De acuerdo a la revisión sistemática realizada para sustentar de manera concisa el desarrollo del proyecto, se presentarán antecedentes los cuales son en su totalidad internacionales comprendidos en el periodo de 1992 – 2015. Los avances en nacionales en esta línea de diseño son nulos, lo que se considera este proyecto como pionero en el diseño de ergómetros para kayak y canoa.

3.2.1 Prueba ergométrica para kayakistas de alto nivel. Los autores de este estudio, CARRASCO PÁEZ, Luis, et al.³⁷ Realizaron una serie de pruebas con ergómetros específicos (Dansprint ®) y en un canal de agua plana (FWT), se implementaron dos (2) ergómetros (Ergo1 y Ergo2) de resistencia variable, con el fin de determinar la validez y confiabilidad en estos mecanismos.

La población seleccionada por ellos, de la cual se tomaron los datos pertenecen a la selección española de kayak, 14 deportistas masculinos de alto rendimiento se sometieron a este estudio, cada uno debía realizar la prueba en cada ergómetro y en el agua de forma aleatoria. La variable de importancia del estudio fue el umbral anaeróbico, también evaluaron parámetros como la frecuencia cardiaca (FC), frecuencia de brazada (SR), la velocidad de remo (PV) y la concentración de lactato en la sangre. Los resultados que obtuvieron muestran una fuerte correlación entre los ergómetros y la prueba realizada en el agua, estos resultados se ven reflejados en la tabla 2:

³⁷ CARRASCO PÁEZ, Luis, et al. Op. cit., 5. P.

Tabla 2. Variables fisiológicas y de rendimiento en kayak registradas tanto en pruebas geométricas como en aguas planas.

	Ergo1	Ergo2	FWT		
	M	M	r1, p1	M	r2, p2
	(SD)	(SD)		(SD)	
Velocidad de Paleo [km/h]	12,99	13,05	0,784;	13,30	0,496
	(0,22)	(0,32)	0,004	(0,31)	0,121
Tasa de Accidente Cerebrovascular [st/min]	79,5	79,5	0,976	73,9	0,985
	(5,7)	(5,6)	(0,0)	(5,0)	(0,0)
Ritmo Cardíaco [bp/min]	173,0	174,5	0,964	172,0	0,924
	(6,6)	(6,3)	0,000	(4,7)	0,000
Lactato [mMol/L]	6,98	3,21	0,899	3,13	0,920
	(0,56)	(0,5)	0,000	(0,37)	0,000

Fuente: CARRASCO PÁEZ, Luis, et al., Op. cit., p. 5.

Leyenda: r1 y p1 muestran el coeficiente de correlación de Pearson entre Ergo1 y Ergo2, y su nivel de significancia, respectivamente. r2 y p2 muestran el coeficiente de correlación de Pearson entre Ergo2 y FWT, y su nivel de significancia, respectivamente.

3.2.2 Máquina de Ejercicio para kayak. Barselou, Cupka y Fedas³⁸, desarrollaron un trabajo con el objetivo de mejorar una máquina de kayak ya existente, sin embargo, profesionales usuarios de estos mecanismos mencionaban que estas máquinas carecían de un completo trabajo de los grupos musculares, además del equilibrio, por tal motivo, optaron por la modificación de una máquina de remo que simularía el movimiento de remado en un kayak, mediante un mecanismo pivote que permite el balanceo y el guiño de la máquina.

La modificación que realizaron consto de un mecanismo llamado “Adaptador Concept II” (Adaptador del Concepto II), este mecanismo cuenta con resortes los cuales simulan la fuerza de restauración en el kayak, también se le acondicionó una cabina que mediante cuerdas simulaba el movimiento del kayak.

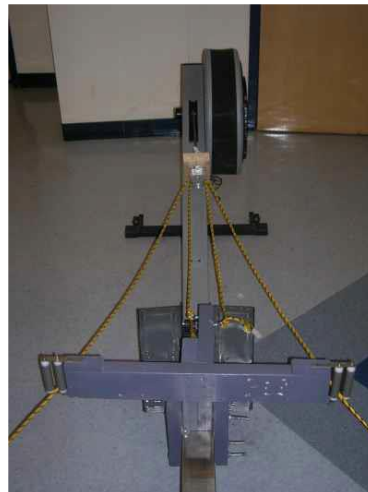
³⁸ BARSALOU, Miriam. CUPKA, Matthew y FEDAS Nick. *Kayak Exerciser Machine* [en línea]. Boston. 18 de abril 2006. 72 p. Consultado: 25 de noviembre 2020. Disponible en: <https://n9.cl/osur>

Imagen 24. Cabina del prototipo con soporte de gancho para el muslo plegado.



Fuente: BARSALOU, Miriam. CUPKA, Matthew y FEDAS Nick. Kayak Exerciser Machine [figura]. Boston. 2006. p. 27.

Imagen 25. Adaptador para la parte superior del cuerpo en la máquina de remo concept II.



Fuente: íbid., p. 28.

Se sugieren mejoras futuras, entre ellas incluidas, cabina ajustable, freno de giro, mejoramiento del mecanismo pivote, entre otras.

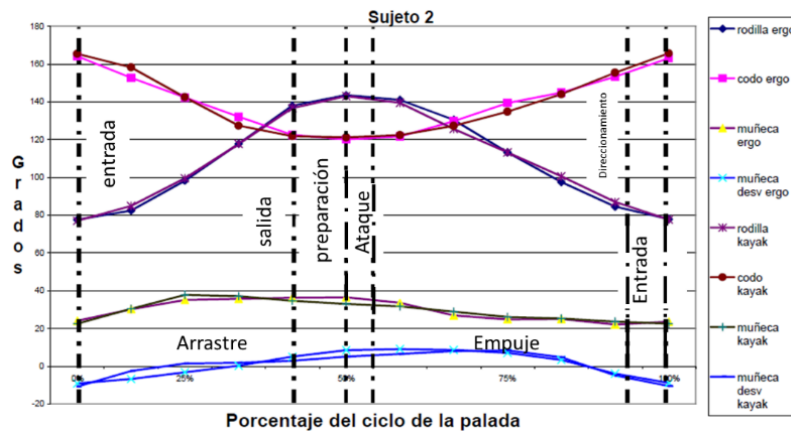
3.2.3 Análisis de la técnica de kayak de tipo olímpico. Barrios³⁹, realizó una tesis cuyo objetivo fue determinar las semejanzas cinemáticas de un kayak con un

³⁹ BARRIOS, Op. cit., p. 34.

ergómetro de kayak, para esto se centró en los movimientos de las articulaciones de la rodilla, el codo y la muñeca, en su flexión y extensión.

Este estudio lo realizó con la participación de ocho (8) miembros de la selección nacional mexicana de canotaje de la categoría senior (todos mayores de 18 años), se implementaron electrogoniómetros, que fueron ubicados de manera estratégica en cada una de las articulaciones nombradas. Se realizaron dos pruebas, una en el ergómetro de kayak y otra en el kayak de uso cotidiano. Debido a la simetría del ciclo, Barrios simplificó el movimiento para el estudio, solo hizo las pruebas sobre las extremidades de la izquierda, teniendo en cuenta que el movimiento del deporte es cíclico. Las variaciones en la etapa de la palada se pueden evidenciar en la imagen 26, donde muestra el ciclo de cada una de las articulaciones que seleccionó para el estudio.

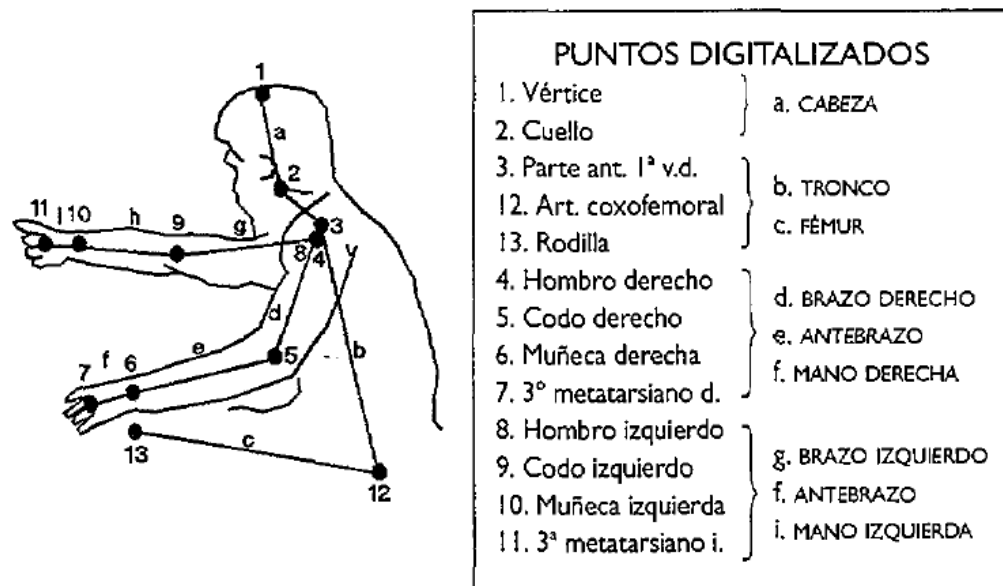
Imagen 26. Gráfica de la comparación goniométrica de la palada del sujeto 2 con las fases de la palada indicadas.



Fuente: BARRIOS, Op. cit. p. 30.

3.2.4 Estudio comparativo de los parámetros cinemáticos de la técnica del paleo. Caubeti⁴⁰, realizó un estudio mediante una cámara fotográfica con tomas 2D, de modo que se observará la aplicación de la técnica tanto en agua como en el ergómetro, el campo lo adecuó para ambas pruebas, donde participaron nueve (9) deportistas de la selección española, se seleccionó puntos estratégicos en el tronco, brazos y cabeza del deportista para el estudio del movimiento, esto para facilitar la toma de datos, la distribución la definió de la siguiente manera:

Imagen 27. Puntos digitalizados en el estudio.



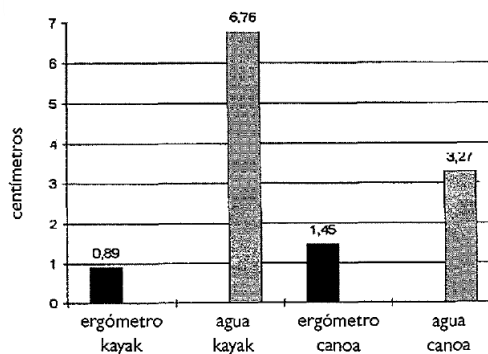
Fuente: CAUBETI MOLINA, Op. cit., p. 3.

Caubeti analizó los desplazamientos y movimientos específicos como: basculación de cadera, desplazamiento de la mano, desplazamiento del codo y ángulo del tronco respecto a la horizontal.

⁴⁰ CAUBETI MOLINA, Josep. Estudio comparativo de los parámetros cinemáticos de la técnica del paleo en un ergómetro de piragüismo y en agua [en línea]. España: issue, 1999, vol 34. Consultado: 9 de octubre de 2020. Disponible en: <https://n9.cl/7dh60>

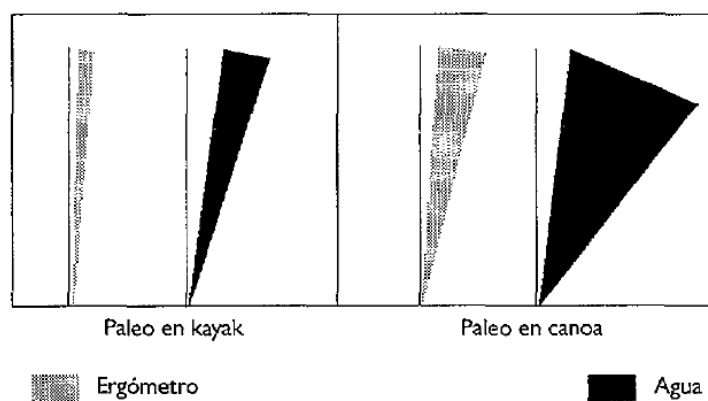
Concluyó que el uso de ergómetros como complemento de aplicación de la técnica, sirve como sustituto para el mejoramiento del rendimiento, sin embargo, recomienda que para una aproximación más precisa en el uso de estos mecanismos, es necesario el uso de una plataforma móvil, donde simule el balanceo y alcanzar la amplitud de brazada adecuada, en la imagen 28 (basculación de cadera) y en la imagen 29 (ángulo tronco-horizontal, diferencias de variación del ángulo entre el paleo en ergómetro y el paleo en agua), se muestran los resultados obtenidos en la prueba con ergómetro y la prueba realizada en agua.

Imagen 28. Basculación de la cadera.



Fuente: CAUBETI MOLINA, Op. cit., p. 4.

Imagen 29. Ángulo tronco-horizontal. Diferencias de variación del ángulo entre el paleo en ergómetro y el paleo en agua



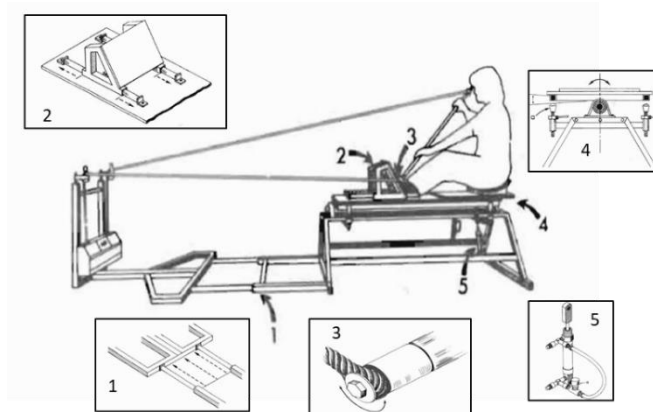
Fuente: CAUBETI MOLINA, Op. Cit., p. 6.

Como se puede observar, la diferencia de basculación de cadera para el kayak, es bastante significativa (aprox. 6 cm), por otro lado, la amplitud del ángulo en el agua (30.77°), para el caso de la canoa es mucho mayor (19.91°) que, en el ergómetro, esto debido a que el ergómetro utilizado es de plataforma fija, impidiendo la basculación necesaria.

3.2.5 Ergómetro de kayak para pruebas y acondicionamiento en tierra seca.

P.D. Campagna, et al.⁴¹, realizaron un trabajo que consistió en el diseño y construcción de un ergómetro, el cual cuenta con partes específicas para el funcionamiento del mismo, en la imagen 30 podemos observar las partes que componen el mecanismo propuesto por los autores:

Imagen 30. Ergómetro para kayak.



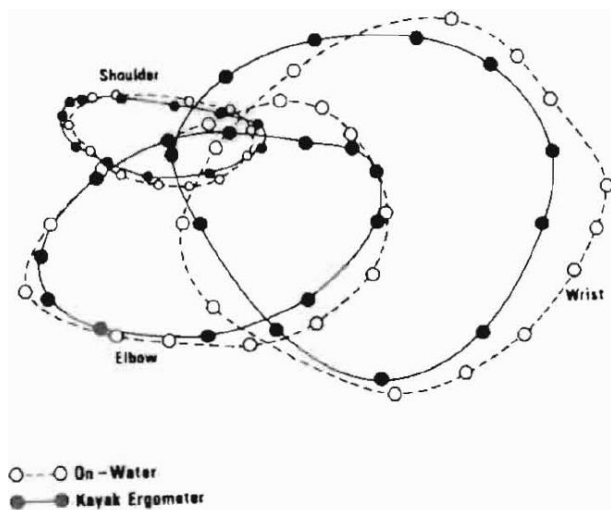
Fuente: PD, Campagna, et al, Op. Cit., p. 2.

Es importante mencionar las funciones de las partes cuatro (4) y cinco (5), ya que estas aportan en gran manera a la similitud del movimiento real. La parte cinco (5), consta de dos amortiguadores hidráulicos que brindan una estabilidad al balanceo que ocasiona la parte cuatro (4), generando una oscilación que simula el equilibrio que se debe tener mientras se está practicando en el kayak.

⁴¹PD, Campagna. LE, Holt y AB, Alexander. A kayak ergometer for dry-land testing and conditioning [en línea]. En: 4° Simposio Internacional de Biomecanica en el Deporte, 04, 2008. Disponible en: <https://n9.cl/8842>

Este ergómetro específico ha sido utilizado por deportistas de clubes nacionales (Halifax, Canadá). Los autores validan el uso del mecanismo con las opiniones de deportistas sobre su similitud con el kayak, sin embargo, se hicieron pruebas para comparar los movimientos del kayak y el ergómetro, en la imagen 31 se observa esta similitud:

Imagen 31. Patrones de movimientos



Fuente: PD, Campagna, Op. Cit., p. 6.

Siguieron el movimiento del codo, muñeca y hombro. Como se observa, este mecanismo simula de manera aproximada los movimientos cíclicos de las partes mencionadas. Los trabajos citados anteriormente, validan el uso de ergómetros para entrenamientos terrestres de kayak y canoa, donde cada una de estas investigaciones se centró en el estudio específico de factores importantes que se deben tener en cuenta en el ciclo de la remada, entre los cuales están: grupos musculares, amplitudes del movimiento, similitud del ciclo, entre otras.

Lo anterior sustenta de manera significativa la realización del presente proyecto, donde las deportistas de la Liga Santandereana de Canotaje serán los beneficiarios.

4 PROCESO DE DISEÑO DEL ERGÓMETRO

Para el proceso de diseño se siguió la metodología de diseño utilizada por la NASA, llamada “NASA ESMD *Capstone Design Process*”, con el objetivo de obtener un diseño óptimo.

La metodología consta de cinco (5) fases para el diseño:

- 1) **Pre-fase A:** análisis del problema de diseño.
- 2) **Fase A:** estudio a nivel conceptual del diseño.
- 3) **Fase B:** parámetros de diseño del sistema.
- 4) **Fase C:** diseño de parámetros optimizados.
- 5) **Fase D:** fabricación, ensamblaje y pruebas del producto final.

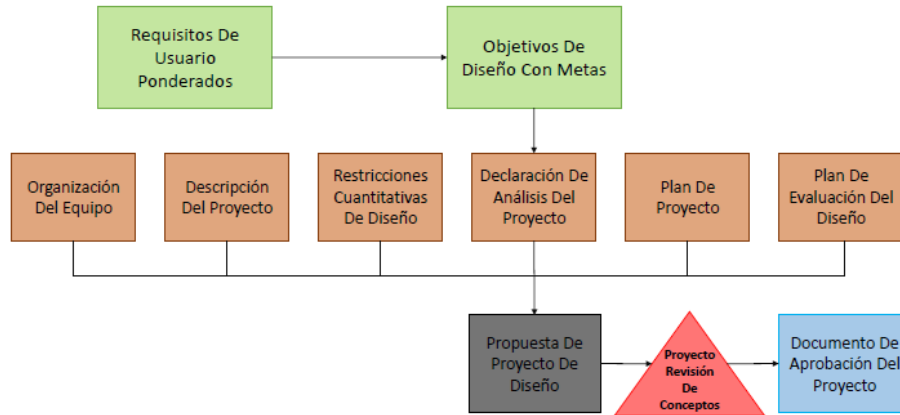
La fase C y D se restringen al modelado CAD de las piezas y el ensamblaje de las mismas, ya que a la fecha no se construyó el prototipo por motivos de fuerza mayor.

4.1 PRE-FASE A: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE DISEÑO

En esta parte del documento se definen las especificaciones por parte del cliente y requerimientos del diseño, así como se definen la ponderación de cada una de ellas. Después de esto se define la matriz de relación, que muestra la relevancia de un parámetro con respecto a otro.

La imagen 32 recoge de manera organizada los pasos a seguir para el desarrollo de esta fase del diseño.

Imagen 32. Pre-fase A. Análisis del diseño.



Fuente: NASA ESMD *Capstone design*. By John K. Gershenson, Ph.D.

4.1.1 Especificaciones del cliente y de diseño. La Liga Santandereana de Canotaje busca que se elabore el diseño del ergómetro basándose en las siguientes condiciones:

- **Económico:** que sea asequible para la Liga Santandereana de Canotaje, por tanto, no debe costar más que un ergómetro del mercado (< 20 millones de pesos). El costo hace referencia únicamente a los materiales de construcción y su manufactura; su estimado es basado en el costo promedio de los ergómetros del mercado.
- **Versátil:** ajustable para entrenamiento tanto de kayak como de canoa. Con algunas modificaciones al montaje se podrá usar para el entrenamiento del tipo de bote que se desee.
- **Esfuerzo variable:** posibilidad de regular la resistencia ofrecida; variación en la fuerza de tracción. Se requiere que el esfuerzo necesario para entrenar pueda ser mayor o menor que el experimentado en una remada en agua.
- **Compacto:** las dimensiones máximas de ancho y largo dadas por el cliente son de 30 cm y 3 m, respectivamente. No debe ser robusto, para de esa

manera adecuarlo dentro de las instalaciones de la Liga Santandereana de Canotaje.

4.1.2 Ponderación de las especificaciones del cliente y parámetros de diseño.

En esta sección se involucran criterios ingenieriles, deportivos y económicos. Todo esto ayuda a definir e identificar los requerimientos del mecanismo a diseñar y en función de ellos se define la siguiente tabla. En dicha tabla se evalúan los requerimientos del usuario y los funcionales del ergómetro a diseñar. Se puntúan de 0 a 10, que se definen como: ninguna relación (0), mucha relación (10). Luego de ello se establece la matriz ponderada, donde se tiene en cuenta la prioridad que tiene cada criterio dentro del diseño conceptual. De esta manera se selecciona de manera más justa la alternativa más cómoda.

Tabla 3. Matriz de ponderación de las especificaciones y requerimientos de diseño.

N°	Prioridad	Especificaciones del usuario y de diseño	Requerimientos de diseño							
			Económico	Silencioso	Compacto	Versátil	Estético	Variación de	Ligero	Durabilidad
1	5	Económico	10	6	8	10	8	10	6	8
2	5	Eficiente	7	6	5	6	8	5	5	7
4	4	Diseño cómodo	10	5	6	8	5	8	4	6
5	3	Fácil mantenimiento	10	6	9	5	6	6	3	8
6	2	Fácil transporte	5	5	10	5	5	4	9	6
9	2	Silencioso	6	10	6	6	5	7	6	5
10	2	Realismo	3	5	5	8	5	10	2	6
11	2	Compacto	8	6	10	6	8	6	9	8

En la siguiente tabla se tiene la tabla de ponderación multiplicada por su prioridad, así como la sumatoria y determinación de los aspectos más importantes para tener en cuenta en el diseño.

Tabla 4. Matriz de ponderación de las especificaciones y requerimientos de diseño con puntajes totales.

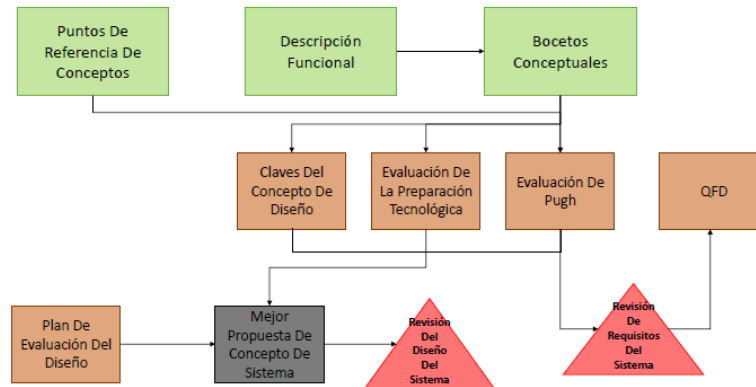
N°	Prioridad	Especificaciones del usuario y de diseño	Requerimientos de diseño							
			Económico	Silencioso	Compacto	Versátil	Estético	Variación de la resistencia	Ligero	Durabilidad
1	5	Económico	50	30	40	50	40	50	30	40
2	5	Eficiente	35	30	25	30	40	25	25	35
3	4	Diseño cómodo	40	20	24	32	20	32	16	24
4	3	Fácil mantenimiento	30	18	27	15	18	18	9	24
5	2	Fácil transporte	10	10	20	10	10	8	18	12
6	2	Silencioso	12	20	12	12	10	14	12	10
7	2	Realismo	6	10	10	16	10	20	4	12
8	2	Compacto	16	12	20	12	16	12	18	16
Suma			199	150	178	177	164	179	132	173

Donde se evidencia que los requerimientos de diseño de mayor relevancia son: económico, compacto, versátil y de resistencia variable.

4.2 FASE A: ESTUDIO A NIVEL CONCEPTUAL DEL DISEÑO.

En esta fase del diseño se definen tres (3) alternativas que puedan solucionar la problemática, que mediante un análisis por matriz de decisión (matriz Pugh) se busca hallar la mejor de ellas.

Imagen 33. Fase A: estudio a nivel conceptual del diseño.



Fuente: NASA ESMD *Capstone design*. By John K. Gershenson, Ph.D.

4.2.1 Diseño conceptual. Tal como se apreció en títulos anteriores, el ergómetro a diseñar se puede separar en tres (3) subsistemas: 1) bastidor; 2) mecanismo de resistencia; 3) base basculante/fija. El subsistema de mayor relevancia dentro del modelo es el de resistencia, el encargado de generar el esfuerzo para la emulación de la remanada. La base basculante es la encargada de dar una sensación de más real en la remada de canoa (fija para kayak). Los modelos conceptuales de bastidor y base basculante/fija son comunes en las alternativas presentadas, por eso mismo aquí se describen de manera previa.

Imagen 34. Vista lateral del modelo conceptual del bastidor.

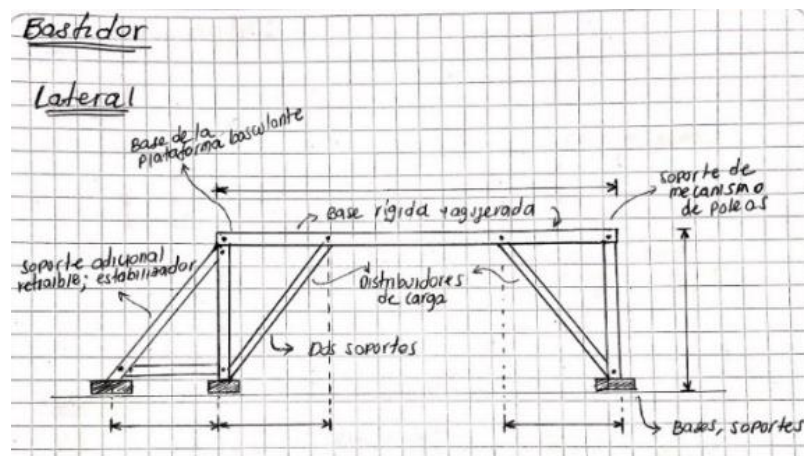
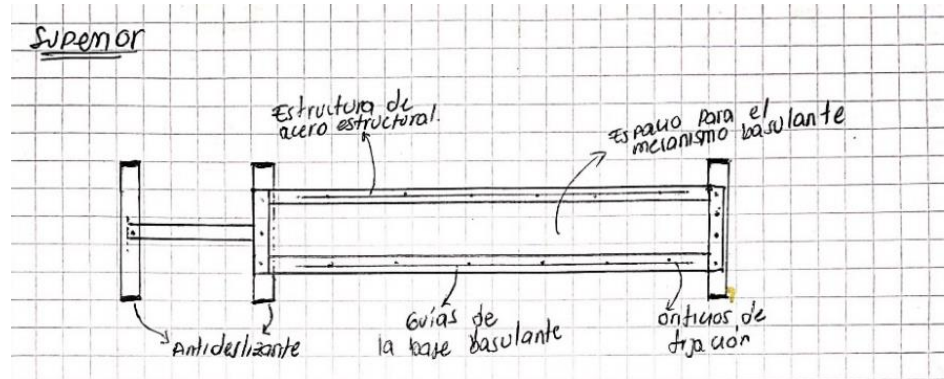


Imagen 35. Vista superior del modelo conceptual del bastidor.



La base basculante va puesta sobre el bastidor, y esta oscila hacia adelante y hacia atrás en un movimiento generado por el usuario. Esta base viene dotada de tres zonas para la ubicación de los diferentes accesorios de los botes: rodillera, posapies, silla de kayak, superficie rugosa. Puede fijarse para usar el ergómetro en el entrenamiento de kayak o canoa. Esta plataforma tiene como objetivo dar una sensación más realista en la remada de canoa.

Imagen 36. Vista lateral y superior del modelo conceptual de la base basculante.

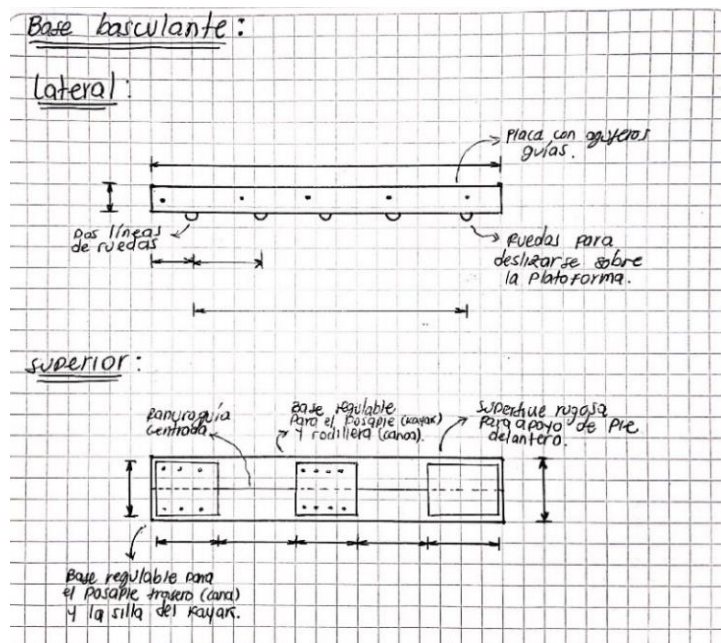
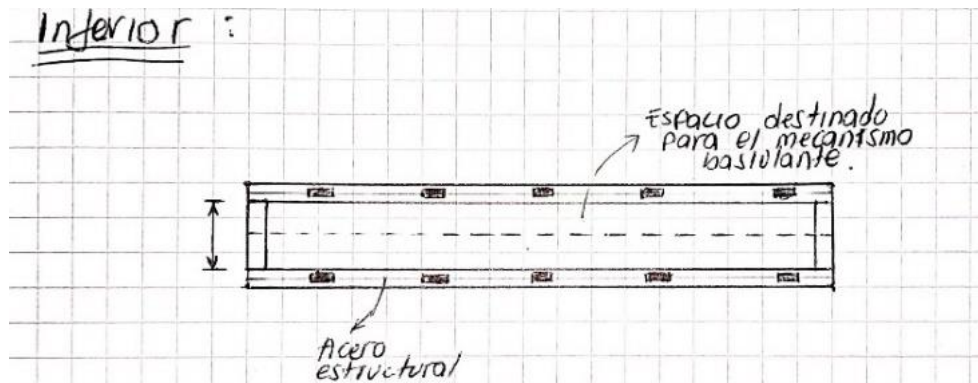


Imagen 37. Vista inferior del modelo conceptual de la base basculante.

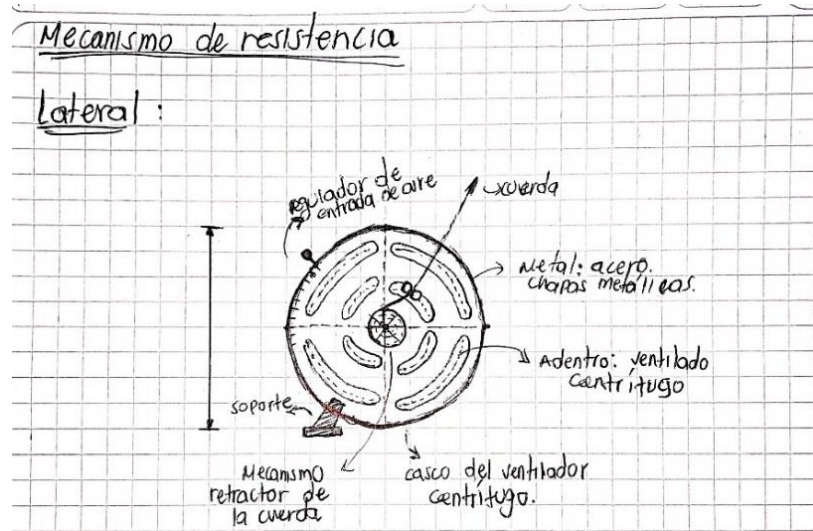


Las tres (3) alternativas que se presentan a continuación serán con las que se pretende dar solución a la problemática.

4.2.3 Primera alternativa. mecanismo de resistencia por aire con base basculante. Este mecanismo de resistencia tiene el siguiente funcionamiento base: la entrada de aire a la cabina es regulable y se ajusta para que entre más o menos aire, variando de esta manera la resistencia de la simulación. A mayor entrada de aire, mayor será la resistencia ejercida por el ventilador. Es el mecanismo común dentro de los ergómetros existentes para el entrenamiento del canotaje de velocidad, ya que es un diseño que se presta para ser compacto y ligero.

Esta alternativa va acompañada de una plataforma basculante para canoa, la cual podrá fijarse cuando el ergómetro se use para el entrenamiento de kayak. Se describen las ventajas y desventajas que presenta:

Imagen 38. Diseño conceptual del mecanismo de resistencia por aire.



Ventajas:

- **Ligero:** el mecanismo de resistencia se presta para ser de bajo peso.
- **Versátil:** el mecanismo es apropiado para que el diseño funcione para el entrenamiento de ambos tipos de botes.
- **Esfuerzo variable:** según la previa investigación se muestra que la variación de esfuerzos funciona de manera apropiada.
- **Compacto:** se aprecia en modelos existentes que el tamaño del mecanismo de resistencia es relativamente pequeño.

Desventajas:

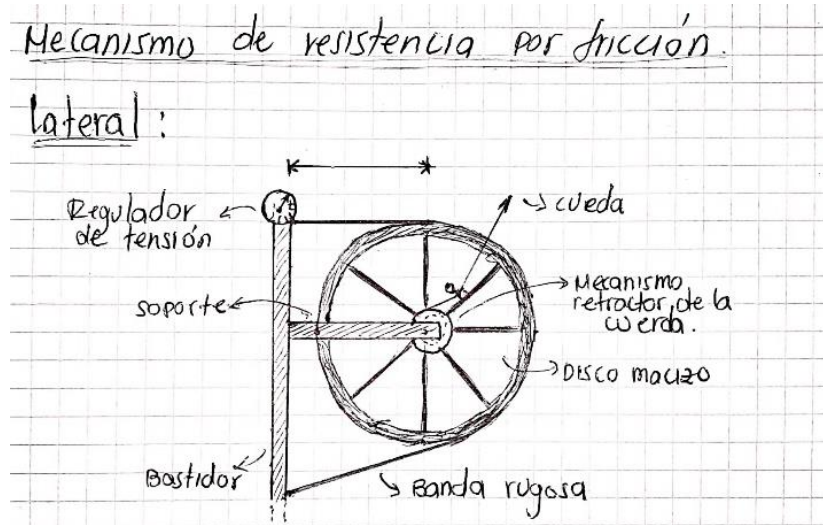
- **Costo:** la manufactura de las piezas del mecanismo de resistencia puede incrementar el costo de la alternativa.
- **Ruido:** en el material multimedia de este tipo de ergómetros se aprecia que es ruidoso al usarse.

- **Diseño:** el mecanismo de resistencia requiere una simulación o pruebas reales para validar la resistencia ofrecida; el modelo matemático para estimar la resistencia puede ser complejo.

4.2.4 Segunda alternativa: mecanismo de resistencia por fricción con base basculante. Este mecanismo tiene un funcionamiento sencillo, genera la resistencia mediante un disco macizo y un freno, este último es comúnmente una banda rugosa que entra en roce con la superficie del disco, generando una fuerza de fricción opuesta al sentido de giro.

La tensión de dicha banda (o presión del contacto) influirá en la resistencia que oponga el mecanismo, ya que, a mayor tensión (o presión), mayor será la fuerza que haya que aplicar para hacer girar el disco. El disco de inercia es macizo, lo que lo hace pesado. El desgaste de esta banda hará que la resistencia del dispositivo sea variable en el tiempo.

Imagen 39. Diseño conceptual del mecanismo de resistencia por fricción.



Ventajas:

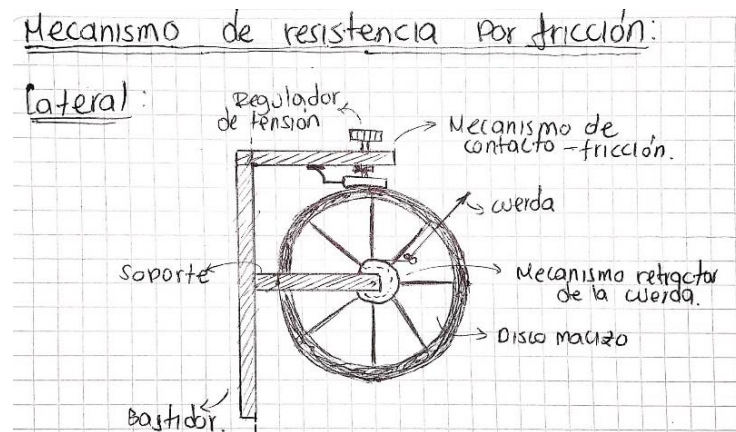
- **Costo:** la manufactura de las piezas del mecanismo de resistencia puede ser más económica, además de que la cantidad de piezas principales es menor que en las demás alternativas.
- **Versátil:** el mecanismo es apropiado para que el diseño funcione para el entrenamiento de ambos tipos de botes.
- **Esfuerzo variable:** la regulación de la resistencia es posible por medio de un sencillo mecanismo.
- **Compacto:** se aprecia en modelos existentes en bicicletas estáticas que el tamaño del mecanismo de resistencia es relativamente pequeño.
- **Diseño:** el modelo matemático para el cálculo de la resistencia no representa complejidad.

Desventajas:

- **Desgaste:** el desgaste de la banda encargada de variar la resistencia, así como de los rodillos de la plataforma basculante, puede ocasionar que, con el pasar del tiempo, no sea tan eficaz.
- **Peso:** el mecanismo de resistencia se compone por un disco sólido.

4.2.5 Tercera alternativa: mecanismo de resistencia por fricción sin base basculante. Esta variante excluye la plataforma basculante con la intención de disminuir costos, pues no representa un requerimiento del cliente. La base será fijada al bastidor, haciendo más sencillo el modelo de ergómetro.

Imagen 40. Diseño conceptual del mecanismo de resistencia por fricción sin base basculante.



Las ventajas son, en general, las mismas que tiene el diseño por fricción con plataformas basculante; las desventajas pueden disminuir e incluso convertirse en ventajas. Sin embargo, se añade lo siguiente:

Ventajas:

- **Costo:** al eliminar la plataforma basculante se reducen sustancialmente los costes de manufactura.
- **Compacto:** el mecanismo es ahora más compacto.
- **Diseño:** se reduce la inversión de tiempo en el diseño, pues se elimina el subsistema de menos importancia del ergómetro.
- **Peso:** el peso disminuye considerablemente, pues los accesorios ahora irán directo al bastidor, eliminando el peso que representaba la plataforma basculante.

Desventajas:

- **Sensación realista:** al suprimir la base basculante se sacrifica una experiencia más real durante la remada.

4.2.6 Selección de la alternativa. Se someterán las tres (3) alternativas a diferentes cuestionamientos para lograr definir cuál de estas es la mejor.

4.2.6.1 Análisis mediante la aplicación de la Matriz Pugh. Luego de la previa definición de los parámetros y/o requerimientos claves para la selección de una alternativa, se realiza el análisis mediante Matriz Pugh para encontrar la alternativa que mejor cumpla con ellos.

4.2.6.2 Criterios para la evaluación de las diferentes alternativas. En esta sección se involucran criterios ingenieriles, deportivos y económicos. Todo esto ayuda a definir e identificar la mejor alternativa a diseñar y en función de ellos se define la siguiente tabla. En dicha tabla se evalúan los requerimientos del usuario y los funcionales del ergómetro a diseñar. Se puntúan de -1, 0 y 1, que se definen como: debajo de la base (-1), igual a la base (0) y sobre la base (1), respectivamente. Luego de ello se establece la matriz ponderada, donde se tiene en cuenta la prioridad que tiene cada criterio dentro del diseño conceptual. De esta manera se selecciona de manera más justa la alternativa que más convenga.

Tabla 5. Matriz de Pugh de evaluación de alternativas.

N°	Prioridad	Requerimientos del usuario y de diseño	Alternativas a evaluar			
			B	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	5	Económico	0	1	1	1
2	5	Eficiente	0	0	0	0
3	4	Ligero	0	1	-1	0
4	4	Diseño cómodo	0	0	1	1
5	3	Fácil mantenimiento	0	1	1	1
6	2	Fácil transporte	0	0	1	1
7	1	Estético	0	-1	1	1
8	5	Versátil	0	0	0	0
9	2	Silencioso	0	-1	0	0
10	2	Realismo	0	1	1	0
11	2	Compacto	0	-1	1	1
12	5	Variación de la resistencia	0	0	1	1

El siguiente paso será la multiplicación de cada uno de estos valores por su peso en prioridad. Luego de esto se sumarán los valores y se escoge la que dé un resultado mayor; esta será la mejor alternativa.

Tabla 6. Valor de importancia ponderada por valor de prioridad.

N°	Prioridad	Requerimientos del usuario y de diseño	Alternativas a evaluar			
			B	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	5	Económico	0	5	5	5
2	5	Eficiente	0	0	0	0
3	4	Ligero	0	4	-4	0
4	4	Diseño cómodo	0	0	4	4
5	3	Fácil mantenimiento	0	3	3	3
6	2	Fácil transporte	0	0	2	2
7	1	Estético	0	-1	1	1
8	5	Versátil	0	0	0	0
9	2	Silencioso	0	-2	0	0
10	2	Realismo	0	2	2	0
11	2	Compacto	0	-2	2	2
12	5	Variación de la resistencia	0	0	5	5
Total, positivos				12	24	22
Total, negativos				-5	-4	0
Total, absoluto				7	20	22

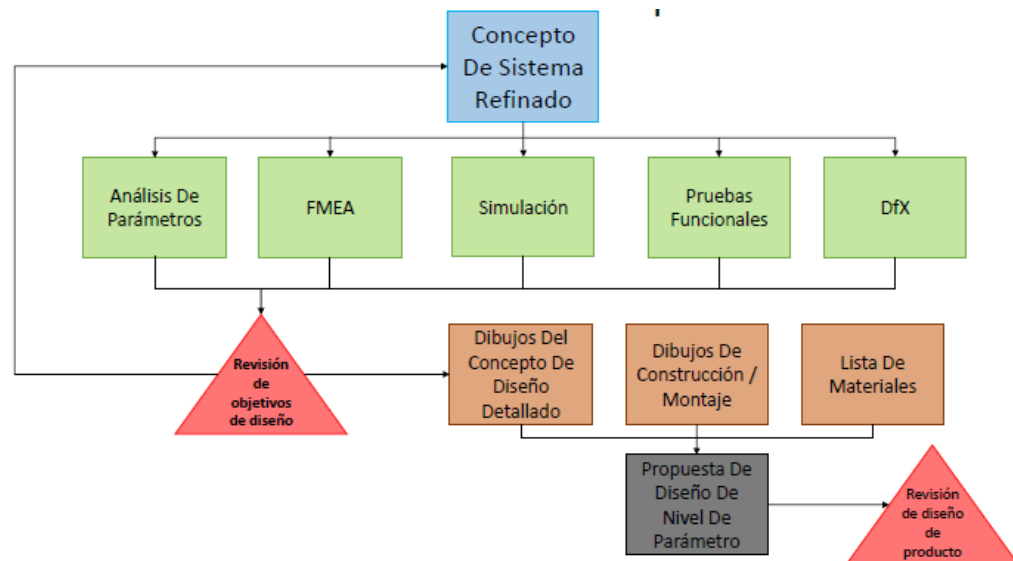
El análisis mediante Matriz Pugh deja ver la relevancia que tiene cada uno de los criterios funcionales dentro del diseño, asimismo como define cuál es la alternativa que mejor los satisface.

El análisis permite concluir que la alternativa que mejor se acopla a los requerimientos del cliente y de diseño es la alternativa tres (3), que corresponde al: **ergómetro con mecanismo de resistencia por fricción sin base basculante.**

4.3 FASE B: PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA

Esta fase se enfoca en los cálculos necesarios para el diseño. Tiene como objetivo hallar los parámetros relacionados a la propuesta definida. En esta fase se desarrolla el diseño en detalle, donde se explica cómo se diseñaron cada uno de los componentes del ergómetro con base en la alternativa seleccionada.

Imagen 41. Fase B: parámetros de diseño del sistema.



Fuente: NASA ESMD *Capstone design*. By John K. Gershenson, Ph.D.

4.3.1 Especificaciones de la alternativa seleccionada. Se selecciona el ergómetro con mecanismo de resistencia por fricción sin base basculante, el más económico de todos. Cumple con los requerimientos del cliente en su totalidad. De este diseño se puede decir que, por su sencillez, se presta para que sea compacto, ligero, económico. versátil y fácil de utilizar. El mecanismo de variación de la resistencia es relativamente sencillo en cuanto a funcionamiento, pues consta de una perilla que aumenta o disminuye la presión sobre el disco de fricción, variando así los esfuerzos a los que se somete el deportista.

4.3.2 Dimensionamiento de la base. Para la determinación de las medidas de la base se tuvo el acompañamiento del entrenador de la Selección Santandereana de Canotaje, Javier David Pérez. Detalles técnicos, deportivos y anatómicos fueron proporcionados por él, aportando información significativamente importante al desarrollo del diseño. Su opinión de experto fue importante para la determinación de esta fase del proyecto.

4.3.2.1 Análisis dimensional de la remada de Canoa. En la imagen 42 se aprecian las dimensiones a estudiar, teniendo en cuenta que se miden cuando el remador está a punto de iniciar la fase acuática de la remada.

Imagen 42. Remador a punto de iniciar la fase acuática de la remada en canoa.



La convención de dichas medidas se registra en la tabla 7.

Tabla 7. Convención de las dimensiones de la remada en canoa.

Nomenclatura (x_n)	Definición
x_1	Longitud del bote $x_1 = 5.20 m$. Dimensión de referencia para la determinación de las demás medidas.

x_2	Distancia entre el posapié trasero y el punto de entrada de la remada.
x_3	Distancia entre el posapié trasero y el punto de apoyo de la rodilla.
x_4	Distancia entre el pie de apoyo y el punto de apoyo de la rodilla.
x_5	Distancia entre el pie de apoyo y el posapié trasero.
x_6	Altura de la entrada del remo.
x_7	Dimensión estimada para el espacio del mecanismo de resistencia.

En reunión con el entrenador y con ayuda de la base de información que ha recolectado con el pasar de los años de la liga en su sede en Barrancabermeja, se tienen las siguientes medidas de algunos remadores, desde el más bajo hasta el más alto, registradas en la tabla 8.

Tabla 8. Medidas de algunos remadores en el historial de la liga.

Remador	Medidas (m)						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
Juan Gómez	5.20	1.45	0.32	0.58	0.90	0.22	0.50
Héctor Parra	5.20	1.55	0.34	0.62	0.96	0.24	0.50
Freddy Gómez	5.20	1.83	0.41	0.73	1.14	0.28	0.50
Danny Palencia	5.20	1.98	0.44	0.79	1.23	0.30	0.50
Sergio Díaz	5.20	2.03	0.45	0.81	1.26	0.31	0.50

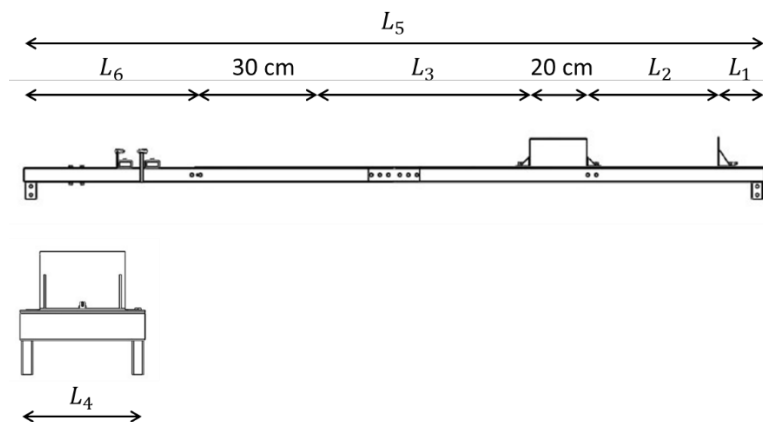
De donde se determinan los rangos para las medidas de la base, mismos que se definieron en el diseño conceptual. La medida de ancho estándar de una rodillera es aproximadamente la misma que la de una silla para kayak, con valores entre 20 y 22 cm (< 30 cm). Se definen las medidas en la tabla 9.

Tabla 9. Medidas definidas para la base del ergómetro en modo canoa.

Medida		Dimensión (cm)	
Nomenclatura	Descripción	Mínima	Máxima
L_1	Medida del extremo inferior de la base al posapié trasero	16	
L_2	Medida del posapié trasero a la rodillera	35	50
L_3	Medida de la rodillera al punto de apoyo delantero	60	90
L_4	Medida del ancho de la base	24	
L_5	Medida del largo de la base*	200	
L_6	Medida del extremo superior de la base al punto de apoyo delantero	40	

*Medida efectiva de la base. El largo del bastidor es 260 cm.

Imagen 43. Dimensiones requeridas para la base de canoa.

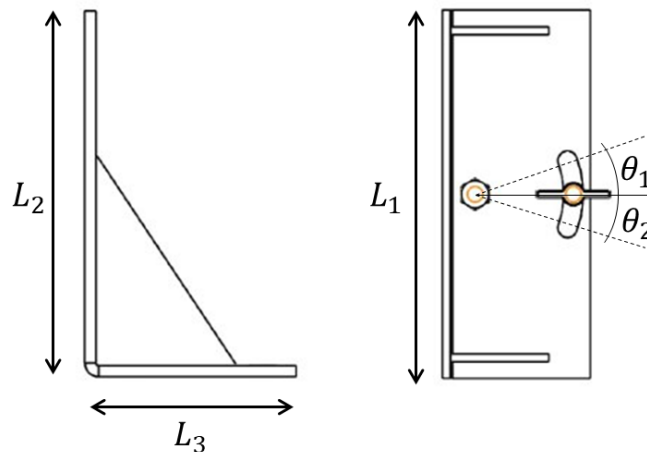


4.3.2.2 Definición de medidas del posapié trasero. Del marco conceptual (3.1.4.1.) se logran definir las siguientes características del posapié trasero de la canoa, mismas que se registran en la siguiente tabla. Se contó con la opinión experta del entrenador de la Selección Santandereana de Canotaje para determinar las dimensiones del mismo.

Tabla 10. Dimensiones del posapié trasero de la canoa.

Nomenclatura	Definición	Dimensión (cm)
L_1	Ancho	18 cm
L_2	Altura	10 cm
L_3	Largo	10 cm
θ_0	Ángulo neutro	0°
θ_1	Ángulos positivos	5°, 10°, 15°, 20°
θ_2	Ángulos negativos	-5°, -10°, -15°, -20°

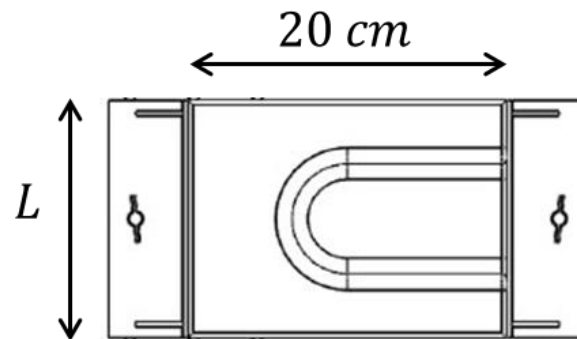
Imagen 44. Boceto del posapié trasero de la canoa con las dimensiones.



La cara donde se apoya el pie estará cubierta con una superficie rugosa (lija nº 180), para de esta manera aumentar el agarre en el apoyo.

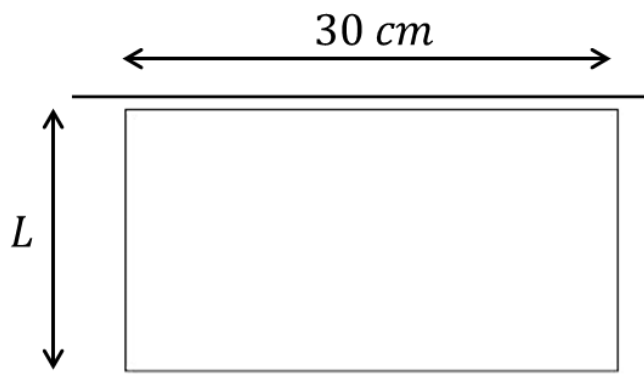
4.3.2.3 Definición de medidas del punto de apoyo de la rodilla. La medida estándar de una rodillera de base cuadrada es de 20 cm. Los apoyos sobre la base serán segmentos de ángulo en aluminio, de lado 30 mm por 30 mm, con una longitud L igual a 16 cm.

Imagen 45. Boceto del apoyo de la rodilla



4.3.2.4 Definición de medidas del punto de apoyo del pie delantero. Este punto debe ser una superficie rugosa. Se usará una hoja de lija número 180, de 20 cm de ancho (L) por 30 cm de largo.

Imagen 46. Boceto del apoyo del pie delantero



4.3.3 Análisis dimensional de la remada en kayak. En la imagen 42 se aprecian las dimensiones a estudiar, teniendo en cuenta que se miden cuando el remador está a punto de iniciar la fase acuática de la remada. La convención de dichas medidas se registra en la tabla 11.

Imagen 47. Remador a punto de iniciar la fase acuática de la remada en kayak.



Tabla 11. Convención de las dimensiones de la remada en kayak.

Nomenclatura (x_n)	Definición
x_1	Longitud del bote $x_1 = 5.20 m$. Dimensión de referencia para la determinación de las demás medidas.
x_2	Distancia entre el asiento y la proyección horizontal de la remada justo antes de iniciar la fase acuática.
x_3	Distancia entre el asiento y el posapié.
x_4	Altura del centro del remo.
x_5	Dimensión estimada para el espacio del mecanismo de resistencia.

En reunión con el entrenador y con ayuda de la base de información que ha recolectado con el pasar de los años de la liga en su sede en Barrancabermeja, se tienen las siguientes medidas de algunos remadores, desde el más bajo hasta el más alto, registradas en la tabla 12.

Tabla 12. Medidas de algunos remadores en el historial de la liga.

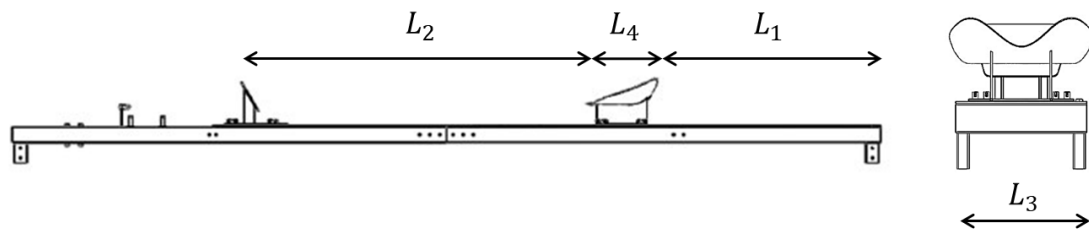
Remador	Medidas (m)				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Andrea López	5.20	0.98	0.68	0.48	0.50
Felipe Daza	5.20	1.04	0.72	0.50	0.50
Adriana Pacheco	5.20	1.20	0.83	0.58	0.50
John Pacheco	5.20	1.30	0.90	0.63	0.50
Kevin Salinas	5.20	1.42	0.98	0.69	0.50

De donde se determinan los rangos para las medidas del base, mismos que se definieron en el diseño conceptual. La medida de ancho y largo estándar de una silla para kayak tiene valores entre 20 y 22 cm. Se definen las medidas en la tabla 13.

Tabla 13. Medidas definidas para la base del ergómetro en modo kayak.

Medida		Dimensión (cm)	
Nomenclatura	Descripción	Mínima	Máxima
L_1	Medida del extremo inferior de la base a la silla del kayak	65	85
L_2	Medida de la silla al posapié	70	100
L_3	Medida del ancho de la silla	20	
L_4	Medida del largo de la silla	20	

Imagen 48. Dimensiones requeridas para la base de kayak.

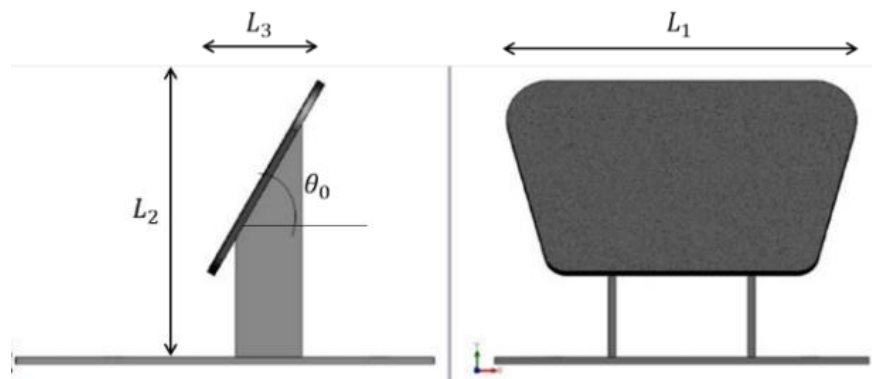


4.3.3.1 Definición de medidas del posapié del kayak. La Liga Santandereana de Canotaje propone usar el reposapiés usado en sus botes, por tanto, será necesario adaptar este elemento a la base del ergómetro. Esto se verá reflejado en el modelo digital del diseño. En la tabla 14 se registran las medidas características del reposapiés, suministradas por el actual entrenador.

Tabla 14. Dimensiones del posapié del kayak.

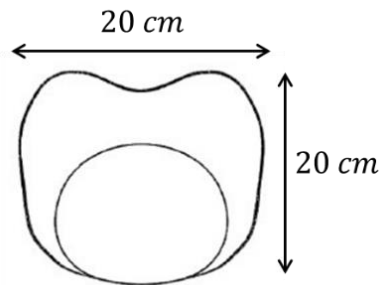
Nomenclatura	Descripción	Dimensión (cm)
L_1	Ancho	20 cm
L_2	Altura	20 cm
L_3	Largo	15 cm
θ_0	Ángulo de inclinación	60°

Imagen 49. Boceto del posapié del kayak con las dimensiones.



4.3.3.2 Definición de medidas de la silla para kayak. La medida estándar de una silla de base cuadrada es de 20 cm. Los apoyos sobre la base serán segmentos de 20 cm de ángulo en aluminio, de lado 30 mm por 30 mm. La silla será suministrada por la LSC, en el anexo E se aprecia.

Imagen 50. Boceto de la silla para kayak



4.3.4 Dimensionamiento del bastidor. Para la determinación de las medidas del bastidor se tuvo en cuenta la recomendación que hace el entrenador de la selección santandereana de canotaje, Javier Pérez. Él asegura que la remada en canoa es significativamente más larga comparada con la de kayak, y que es esta la que puede servir como base para establecer las dimensiones del bastidor.

En la sección 4.5.1 se definieron las medidas de la remada para canoa, de donde se determina el largo del bastidor, definiéndolo como la suma de la distancia entre el posapié trasero y el punto de entrada de la remada con la dimensión estimada para el espacio del mecanismo de resistencia, con un valor aproximado de 2.60 m.

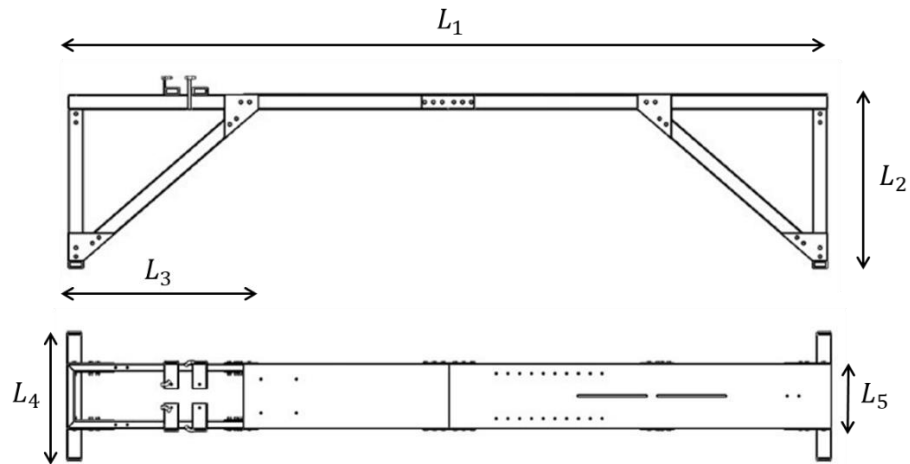
En la siguiente tabla se definen las dimensiones características del bastidor. El ancho mínimo de la base está justificado en el anexo E.

Tabla 15. Dimensiones características del bastidor.

Medida		Dimensión (cm)
Nomenclatura	Descripción	
L_1	Largo	260
L_2	Alto	60
L_3	Punto de ubicación del soporte	60
L_4	Ancho de la base del bastidor	22

L_5	Ancho del bastidor	22
L_6	Distancia entre refuerzos	100*
*Esta medida puede no ser la misma para todos los soportes.		

Imagen 51. Boceto del bastidor con las dimensiones características.



El bastidor se decide fabricar en perfil de acero estructural rectangular de 2x1 pulgadas, calibre 18, y las bases con el mismo perfil, con el lado más ancho hacia el suelo. Se decide este perfil debido al largo del bastidor, para así evitar que la flexión afecte de manera significativa el funcionamiento o estado del mismo. El bastidor será desmontable, acoplado por tornillos y algunas piezas con soldadura y solapas.

4.3.5 Diseño del mecanismo de resistencia. El mecanismo de resistencia fue el punto de referencia clave en la realización del proyecto, pues es este el encargado de simular las condiciones de esfuerzo que emulan la remada tanto en kayak como en canoa.

Este mecanismo se compone de varios elementos, tales como: mecanismo de retracción de la cuerda, mecanismo de fricción, disco de inercia, entre otros. Estos serán caracterizados a continuación, asimismo como justificados en los anexos.

4.3.5.1 Mecanismo de retracción de la cuerda. El mecanismo de retracción de la cuerda será el encargado de recoger la cuerda cuando la remada esté en fase aérea, es decir, cuando el remador lleve hacia la fase de ataque el remo. Los cálculos están justificados en el anexo F. En la tabla 14 está la convención de las medidas del boceto del resorte de la imagen 52, asimismo como las medidas características, material y número de vueltas del resorte.

Imagen 52. Dimensiones del resorte.

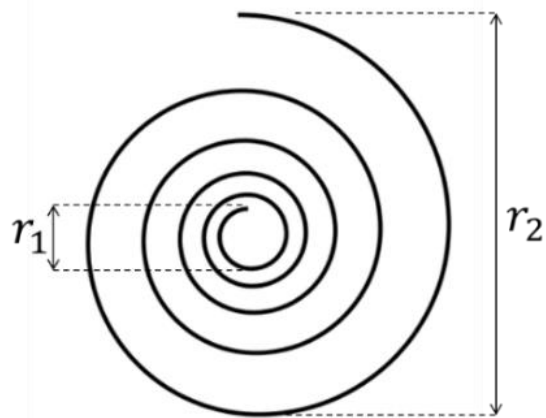


Tabla 16. Características del resorte en espiral del mecanismo de retorno de cuerda.

Descripción	Nomenclatura	Magnitud
Radio interno (mm)	r_1	12
Radio externo (mm)	r_2	60
Número de vueltas	n	10
Espesor sección resorte* (mm)	h	0.3
Ancho sección resorte (mm)	b	7
Fabricado en acero nacional AISI 1070.		
*Valor mínimo ofrecido en el mercado. Menos rígido.		

El resorte estará contenido dentro de una cavidad circular de radio interno r_1 y de radio externo r_2 , e irá acoplado al bastidor y al eje. La platina con la que se fabrica

el resorte tiene una sección $h \times b$, de acero AISI 1070 (ver anexo G). Tendrá un mecanismo de trinquete que permita la rotación libre en un sentido (para enrollar la cuerda) y tracción en el otro (para transmitir movimiento al eje). Todo esto se verá reflejado en el modelo CAD.

4.3.5.2 Rodamiento de trinquete de bolas. Se selecciona un rodamiento de trinquete como el mostrado en la imagen 53, con las dimensiones especificadas en la tabla 15.

Imagen 53. Rodamiento de trinquete de bolas.



Fuente: SUMA. Disponible en: <https://n9.cl/xakq>

Tabla 17. Dimensiones del rodamiento de trinquete de bolas.

Definición	Nomenclatura	Magnitud (mm)
Diámetro interno	d	15
Diámetro externo	D	24
RODAMIENTO DE TRINQUETE CSK15.		

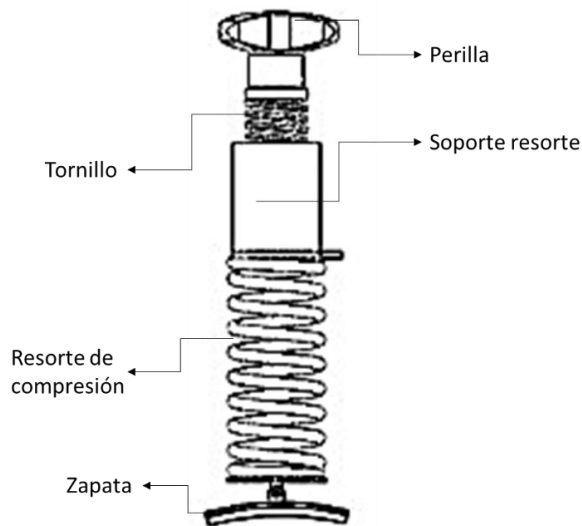
Este rodamiento estará solidario al disco de inercia por medio de un acople. No será el rodamiento principal del disco, pues este consta de otro par de rodamientos para acoplarse al eje.

4.3.6 Mecanismo de fricción. Se encarga de generar la resistencia en el disco de fricción, frenando su movimiento y de esta manera proporcionando esfuerzo al

deportista. Sus componentes y funcionamiento se explican en los siguientes puntos:

- **Zapata:** la encargada de generar el contacto con el disco de fricción. El material de fricción será banda tejida (sin asbesto), mientras que el disco será de acero inoxidable. El coeficiente de fricción entre estas superficies se estima en un valor de 0.4⁴².
- **Resorte:** que proporcione presión al contacto entre la zapata y el disco de fricción. Dicho resorte debe tener dimensiones correspondientes con el espacio disponible, además de que se deben conocer sus características principales, para de esa manera determinar el valor de la fuerza de contacto.
- **Perilla reguladora de esfuerzos:** consta de un tornillo de paso definido, una perilla que rota dicho tornillo para comprimir el resorte, y de esta manera ejercer presión sobre el contacto.

Imagen 54. Mecanismo de fricción.



⁴² Internacional de Empaques S.A.S. 2021. [Consultado: 12 de abril de 2021]. Disponible en: <https://n9.cl/fj1n6>

4.3.6.1 Resorte del mecanismo de fricción. Teniendo en cuenta las condiciones de espacio se definen algunas medidas características del resorte. En paralelo con los cálculos del disco de inercia, se determinan algunas características adicionales, una de estas es la constante k del resorte. En la tabla 18 se incluyen todas estas dimensiones, las cuales fueron calculadas y justificadas en los anexos H y L.

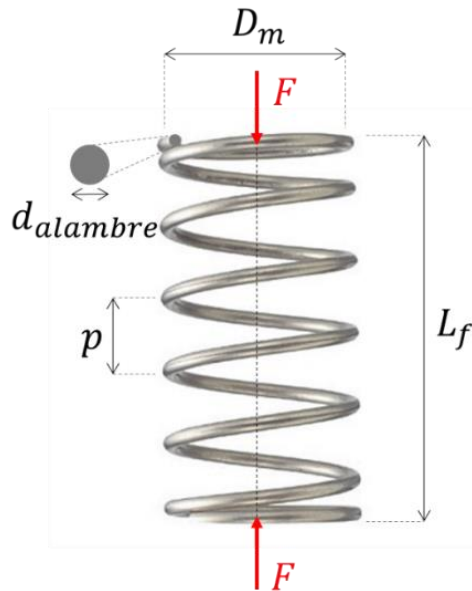
El resorte se diseña para que su compresión máxima de 40 mm ($F \approx 450\text{ N}$) se adecúe a una condición de entrada para $F_{m\acute{a}x} = 400\text{ N}$. Asimismo, se debe ajustar para la condición mínima de fuerza $F_{m\acute{i}n} = 200\text{ N}$, donde se calcula que la compresión debe ser de, aproximadamente, 25 mm.

Tabla 18. Medidas características definidas para el resorte del mecanismo de fricción.

Medidas definidas	Nomenclatura	Magnitud
Diámetro medio	D_m	41.01 mm
Longitud libre	L_f	100 mm
Diámetro del alambre*	$D_{alambre}$	5 mm
Número de vueltas activas	N_a	8
Número de vueltas totales	N_t	10
Fuerza aplicada	F	453 N
Contante del resorte	k	11328 N/m
Medidas calculadas		
Paso	p	11.25 mm
Fabricado en acero AISI 1070.		

*Se define este valor porque es el que está disponible en el mercado.

Imagen 55. Resorte del mecanismo de fricción.



4.3.6.2 Zapata del mecanismo de fricción. La zapata corresponde con el concepto de un freno de contracción externa, mecanismo cómodo con el montaje diseñado. El modelo presenta las condiciones geométricas que muestra la imagen 56, mismas que se explican y definen en la tabla 19.

Imagen 56. Condiciones geométricas de la zapata.

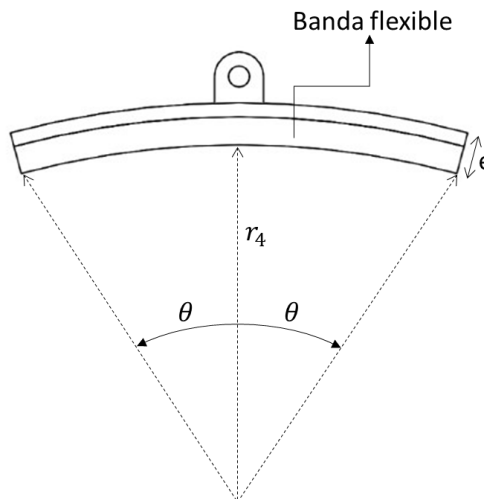


Tabla 19. Condiciones geométricas de la zapata.

Descripción	Nomenclatura	Magnitud
Radio de curvatura	r_4	12 cm
Espesor	e_1	2 mm
Ancho	e_2	2.5 cm
Ángulo de abrazo	θ	15°

El valor del espesor se encuentra justificado en el anexo I. Se definen un ángulo de abrazo de 15°, que por simetría representa 30° en total. El ancho de la zapata será igual que el ancho del disco de fricción.

4.3.6.3 Tornillo del mecanismo de fricción. El tornillo cumple la función de comprimir el resorte una distancia definida. Se desea que el resorte se comprima desde su posición inicial $x_0 = 25 \text{ mm}$ hasta su posición final $x_f = 40 \text{ mm}$, por tanto, para un tornillo con paso de 5 mm, se debe aplicar tres (3) vueltas a la perilla para lograr este objetivo.

En la imagen 57 se aprecian las características del tornillo y en la tabla 20 los valores de estas.

Imagen 57. Características geométricas del tornillo con perilla.



Tabla 20. Características geométricas del tornillo con perilla.

Descripción	Nomenclatura	Magnitud
Longitud	L	10 cm
Diámetro de rosca	d_r	28 mm
Paso	p	5 mm
Rosca métrica M30. Se usa un solo tornillo por modelo.		

4.3.7 Disco de inercia. Uno de los componentes más importantes del ergómetro, ya que, en conjunto con el mecanismo de fricción, proporcionan la resistencia necesaria para que el deportista se ejercite. Para la determinación de sus características geométricas, fue necesario estudiar lo siguiente:

4.3.7.1 Valores de fuerza de entrada al sistema. De la bibliografía investigada y registrada en el título 3.2 se obtienen los valores pico de referencia, los cuales se compilan en la tabla 21, sus valores mínimos y máximos experimentados durante la remada en canoa y kayak, los cuales son determinantes en el diseño del disco de inercia.

Tabla 21. Valores de fuerza (kayak y canoa) de entrada al sistema.

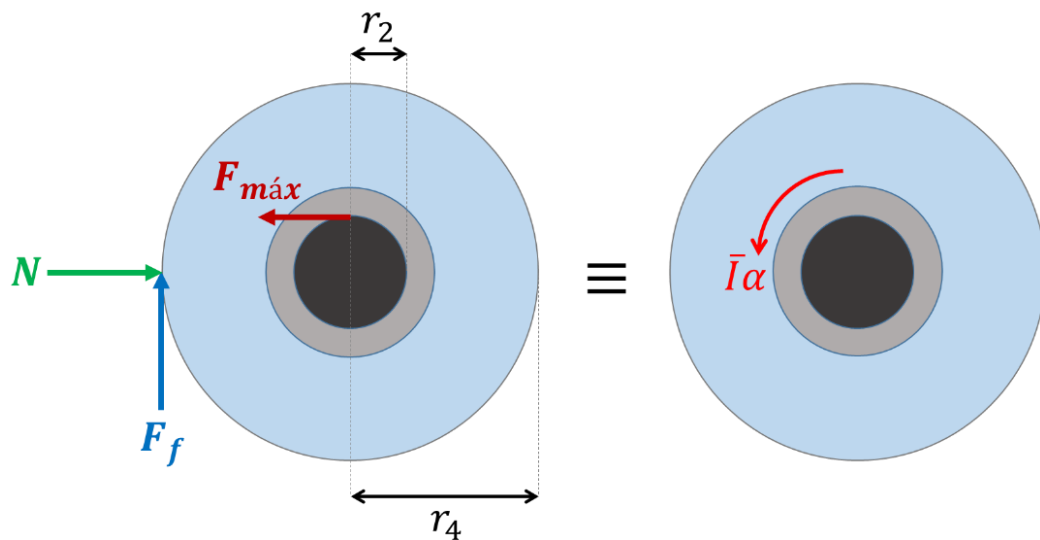
Fuerzas de entrada	Magnitud (N)
Canoa	
Fuerza mínima	230
Fuerza máxima	337
Kayak	
Fuerza mínima	220
Fuerza máxima	375

Sin embargo, en reunión con el entrenador Javier Pérez, se acordó que el valor mínimo y máximo de entrada al sistema sea: $F_{mín} = 200 N$, $F_{máx} = 400 N$ (ver anexo

J). Con la regulación por perilla, se ajustan diferentes valores de intensidad entre 200 y 400 N.

En la siguiente imagen se aprecian las fuerzas a las que se somete el disco, asimismo como sus fuerzas equivalentes, las cuales fueron de vital importancia para la determinación de las condiciones geométricas.

Imagen 58. Fuerzas que actúan en el disco de inercia.



4.3.7.2 Material del disco de inercia. El disco de inercia se manufactura en acero AISI 1020, y posteriormente se somete a un proceso de niquelado, para así evitar la oxidación de la zona de contacto con el mecanismo de fricción. El producirlo de esta manera disminuye significativamente los costos, comparado con la elaboración en acero inoxidable. El acero posee una densidad mayor que la del aluminio o el galvanizado, por lo que hace que el tamaño del disco sea relativamente menor.

4.3.7.3 Geometría del disco. El disco se asume macizo, de radio constante y de 25 mm de espesor. En la imagen 59 se aprecia la geometría del disco, y en la tabla 22 las dimensiones del mismo.

Imagen 59. Geometría del disco de inercia.

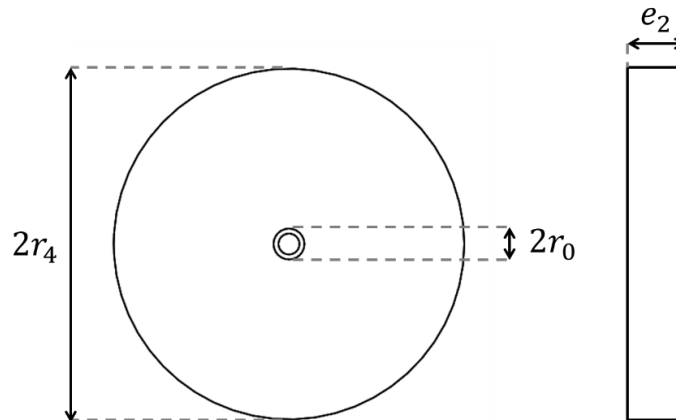


Tabla 22. Medidas de la geometría del disco de inercia.

Descripción	Nomenclatura	Magnitud (cm)
Radio menor	r_0	1.4
Radio mayor	r_4	12
Espesor	e_2	2.5

Todos los cálculos están registrados en el anexo K.

4.3.8 Eje del disco de inercia. Se debe determinar el diámetro mínimo que debe tener el eje del disco de inercia.

Se propone que el eje sea hueco, de 1.5 mm de espesor definido. Los cálculos justificados de este eje se encuentran en el anexo L. En la imagen 60 se muestran las características geométricas definidas y calculadas para el eje. En la tabla 23 están compilados los datos.

Imagen 60. Características geométricas del eje.

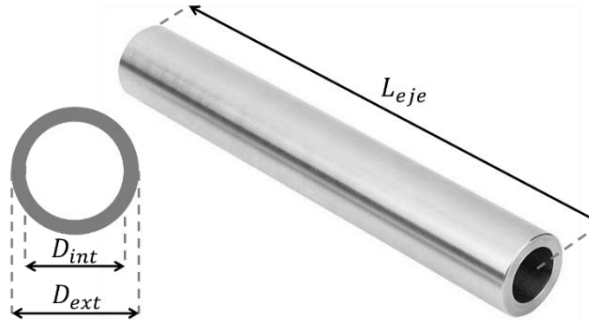


Tabla 23. Características geométricas del eje.

Descripción	Nomenclatura	Magnitud
Largo	L_{aje}	22 cm
Diámetro interno	D_{int}	9 mm
Diámetro externo	$D_{ext} (2r_0)$	12 mm
Eje de 12 mm. ASTM A-36. Schedule 40 - sin costura, gr. B		

4.3.9 Rodamientos del disco de inercia. El disco de inercia irá solidario al eje por medio de un par de rodamientos como los que se muestran en la imagen 61. Las fuerzas que experimenta están especificadas en el anexo M, de donde se selecciona el rodamiento del catálogo de SKF.

Imagen 61. Rodamiento para el disco de inercia.

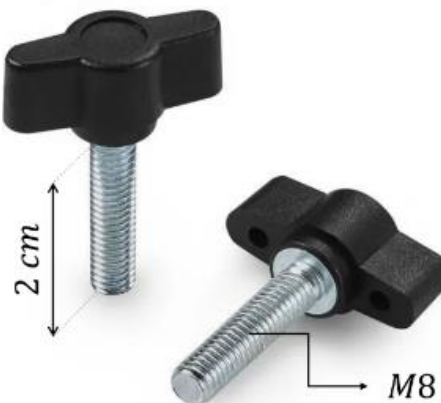


Fuente: catálogo de SKF.

4.3.10 Accesorios, componentes adicionales.

4.3.10.1 Tornillos mariposa para sujeción de accesorios. Para fijar los posapiés, acople para la rodillera y la silla del kayak, será necesario el uso de tornillos mariposa como las mostradas en la imagen 62. Estos son de fácil ajuste y manipulación, lo que los hace cómodos para el usuario.

Imagen 62. Tornillos mariposa para sujeción de accesorios.



Fuente: Direct Industry. Disponible en: <https://n9.cl/zv3i4o>

4.3.10.2 Pértiga de canoa y kayak. Estos elementos serán proporcionados por la LSC, sin embargo, habrá que añadir un acople para que se puedan usar en conjunto con el ergómetro. Un tapón con un agujero que permita el paso de la cuerda, tal como se aprecia en la imagen 63 y se dimensiona en la 64. Las pértigas se evidencian en el anexo N.

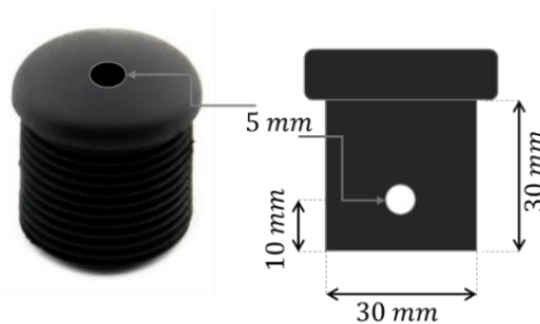
Su realizan dos agujeros de 5 mm, uno en la parte superior, que será por donde pase la cuerda y el otro en la lateral, atravesando de lado a lado, para sujetar firmemente a la pértiga.

Imagen 63. Acople de las pértigas.



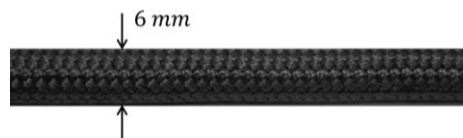
Fuente: C1N KayakPro. Disponible en: <https://n9.cl/fydkf>

Imagen 64. Dimensiones de los tapones a usar.



4.3.10.3 Cuerda para la conexión pértiga – mecanismo de resistencia. Se necesitan tres (3) metros de cuerda para cada lado del ergómetro. Se usa cuerda de Nylon de 6 mm de calibre, tal cual como la que se aprecia en la imagen 62. La ficha técnica de esta cuerda se encuentra en el anexo O.

Imagen 65. Cuerda de Nylon.



4.3.10.4 Banda tejida de fricción. La banda tejida de fricción está hecha de materiales libres de asbesto, as su vez que es flexible, lo que la hace adecuada para el uso que se le dará. Se produce y comercializa a nivel nacional. Los valores de coeficiente de fricción varían entre 0.3 y 0.5 a petición del cliente. Para este caso

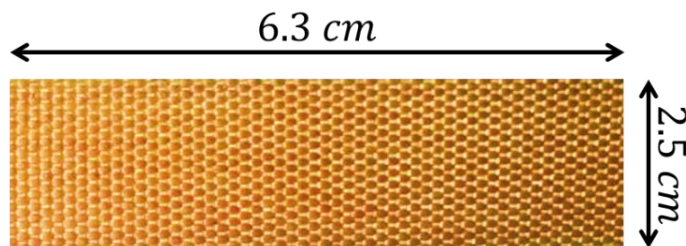
se escoge un coeficiente de 0.4. Las dimensiones son de 2" de ancho por 3/16" de espesor, el largo lo escoge el cliente.

Imagen 66. Banda tejida que se usará en la zapata



Fuente: Internacional de Empaques S.A.S.

Imagen 67. Sección con dimensiones que se usará en la zapata.



La banda de freno tejida es ofrece una buena tasa de desgaste y un factor de fricción estable. Tejidos semiflexibles de fibras de vidrio combinadas con fibras sintéticas y con insertos de hilos de latón. Impregnados con una mezcla de resinas sintéticas que conservan la capacidad de trabajo en condiciones muy severas. Alto coeficiente de fricción tanto en baja como en altas temperaturas. Buena resistencia al calor, a la compresión y al desgaste.

4.3.11 Despliegue de la matriz AMEF. Se desarrolló la matriz de Análisis Modal de Efectos y Fallos (tabla 24) donde se evalúan los requerimientos ya definidos en la pre-fase A (4.1.2.). Se listan los posibles eventos donde se podrían presentar fallas en el modelo, o la no satisfacción de los requerimientos.

Funciona como una herramienta para detectar las posibles fallas que puede presentar el ergómetro diseñado. Se deben tabular las fallas y los efectos que causan estas fallas, a los cuales se les dará un puntaje de 1 a 10, dependiendo de la probabilidad de que pueda fallar por estas causas.

Tabla 24. Matriz AMEF, Análisis Modal de Efectos y Fallos.

Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF) - Ergómetro											
Nº	Requerimiento	Modo de fallo	Efecto potencial del fallo	Efecto sobre el producto o el usuario	Causa	S Severidad	O Ocurrencia	D Detección	NPR	Correcciones	Responsable
1	Compacto	Dimensiones del bastidor	Mecanismo grande y robusto	Incomodidad para la instalación del equipo	Mal dimensionamiento del bastidor	8	5	5	200	Tener en cuenta las dimensiones de las remadas en canoa y kayak	Diseñadores
2		Elementos grandes y rígidos	Aumenta el espacio necesario para disponer del ergómetro desarmado	Dificulta el ensamblaje en físico del ergómetro	La no articulación de elementos dimensionalmente grandes	7	5	6	210	Articular y solapar algunos elementos grandes como el bastidor	Diseñadores
3	Durabilidad	Desajustes	Desgaste en los rodamientos del eje y del disco	Esfuerzo simulado no acorde con el solicitado / ruido	Mala lubricación o ajustes de las piezas rotativas	10	3	8	240	Constante mantenimiento a las piezas rotativas	Usuario
4		Disco de inercia desgastado	Desgaste en la superficie de fricción del disco de inercia	Esfuerzo simulado no acorde con el solicitado / ruido	Desgaste progresivo resultado del uso constante	10	3	8	240	Volver a realizar el proceso de cromado	Usuario
5		Cuerda rota o desgastada	Paro total del ergómetro	Suspensión del entrenamiento	Elevado uso de la fuerza / rotura por desgaste / desacople de los extremos	10	3	8	240	Ajustar la cuerda a los extremos / cambiar si ya muestra un desgaste significativo / aplicar fuerza de manera moderada	Usuario

6	Durabilidad	Banda flexible desprendida o desgastada	Paro total del ergómetro	Suspensión del entrenamiento	Desgaste o desprendimiento de la banda flexible de fricción	10	4	6	240	Cambio de la banda / pegar la banda desprendida	Usuario
7	Variación de la resistencia	Resorte	Resorte oxidado	Esfuerzo simulado no acorde con el solicitado	Resorte sin recubrimiento	8	6	6	288	Someter el resorte a un tratamiento que lo recubre para evitar oxidación	Diseñadores
8		Resorte	Desajuste	Esfuerzo simulado no acorde con el solicitado	El uso progresivo del dispositivo hace que el resorte varíe sus propiedades originales	7	6	5	210	Calibración periódica del resorte	Usuario
9	Versátil	Juego en accesorios	Desajuste de las mariposas	Inestabilidad del usuario	No ajustar correctamente los tornillos mariposa a la base	4	2	4	32	Ajustar correctamente los tornillos mariposa	Usuario
10		Superficie de fricción	Desgasta progresivo por uso	Inestabilidad del usuario	No cambiar a tiempo la lija añadida a la base del bastidor y posapiés	4	2	5	40	Cambiar en el tiempo adecuado el papel de lija	Usuario
11		Resorte en espiral	No se recoge adecuadamente la cuerda durante el regreso de la remada	Suspensión del entrenamiento	No se dan las vueltas de ajuste necesarias para tensionar el resorte en espiral	10	3	7	210	Ajustar correctamente el resorte para su correcto uso	Usuario
12	Económico	Mal selección de materiales	Eleva el costo de los materiales del modelo	Limita la asequibilidad del prototipo	Sobrediseño de algunos elementos	8	5	5	200	Elegir correctamente los materiales que satisfagan los requerimientos.	Diseñadores
13		Cotización costosa	Eleva costo de fabricación	Limita la asequibilidad del prototipo	No realizar diferentes cotizaciones	8	5	7	280	Cotizar en diferentes lugares y buscar opción más económica	Diseñadores

De donde se concluye que se debe hacer control a las fallas potenciales que se pueden desarrollar durante la fase de diseño, o cuando ya el prototipo esté construido:

- Desgaste en los rodamientos del eje y del disco.
- Disco de inercia desgastado.
- Cuerda rota o desgastada.
- Banda flexible desprendida o desgastada
- Resortes oxidados.
- Cotización costosa.

4.3.12 Costos de fabricación del diseño. En este capítulo se exponen los costos de adquisición de los diferentes componentes del ergómetro, para luego determinar la viabilidad del mismo. Algunas piezas tienen origen común, tales como: bastidor, base, disco de inercia, mecanismo de retracción de la cuerda y de fricción, accesorios de kayak y canoa y superficies rugosas, los cuales son cotizados en “METALCA: diseños, ingeniería y mantenimiento”, ubicados en la carrera 13 #22-52, Bucaramanga, Santander. Su encargado de la parte de producción, José Acevedo, hace la oferta de 3.391.500 COP por la realización de las piezas antes mencionadas, y un costo adicional de 178.500 COP por la pintura, con un plazo de entrega no superior a 20 días hábiles. Anexo O con justificaciones.

Se realizó la cotización independiente de las siguientes piezas: resorte en espiral, resorte helicoidal, banda flexible de fricción, rodamientos de trinquete de 15 mm, rodamientos de 12 mm, cuerda de nylon de 6 mm, además del proceso de cromado de la superficie de fricción del disco de inercia. Las cotizaciones tienen vigencia limitada a partir del día 17 de abril del 2020.

Tabla 25. Costos de fabricación del ergómetro diseñado.

COSTOS DE FABRICACIÓN DEL ERGÓMETRO DE KAYAK Y CANOA						
Nº	Elemento	Descripción	Esquema	Cantidad	Costo unitario	Costo
1	Resorte en espiral	Resorte de torsión – fleje calibre 30, 7 mm de ancho. 10 vueltas. Diámetro interno 28 mm.		2	\$ 80.000	\$ 160.000
2	Resorte helicoidal	Resorte de comprensión. Alambre de 5 mm de diámetro. Largo de 10 cm. Diámetro externo de 45 mm. Paso 11.25 mm.		1	\$ 20.000	\$ 20.000
3	Banda flexible de fricción	Banda tejida: 1" de ancho, 3/16" de espesor. Libre de asbesto. Costo unitario por metro. Costo de envío 20.000 adicionales.		1	\$ 139.000	\$ 139.000
4	Bastidor, base, disco, mecanismo de fricción y mecanismo de retorno de cuerda	Fabricación del bastidor, base, disco, mecanismo de fricción y mecanismo de retorno de cuerda, posapiés de kayak y canoa. Incluye la tornillería necesaria, así como las mariposas para el ajuste de los accesorios. Incluye la superficie rugosa (lija) en la base y en los posapiés. No incluye pintura.		1	\$ 3.391.500	\$ 3.391.500

5	Cromado	Cromado de la parte superficial del disco que entra en contacto con la zapata. Se entrega el disco con una capa de pintura en la zona que no se desea tratar.		1	\$ 70.000	\$ 70.000
6	Pintura	Proceso de pintura de todas las piezas del ergómetro, en los colores especificados por el cliente.		1	\$ 178.500	\$ 178.500
7	Rodamiento de trinquete	Rodillo de trinquete CSK15PP HFK, 15 mm.		2	\$ 65.000	\$ 130.000
8	Rodamiento	Rodamiento 6001 NTN. 12 mm.		4	\$ 13.000	\$ 52.000
9	Cuerda de Nylon	Soga Nylon Trenzada 6 mm x 10 m. Color negro.		1	\$ 21.900	\$ 21.900
Total						\$ 4.162.900
Ajuste por imprevistos (10 %)						\$ 4.579.190
Nota: todos los precios tienen IVA del 19 % incluido.						

4.4 FASE C: PLANOS DETALLADOS, HOJAS DE RUTA, ENSAMBLAJE

Estas fases del diseño se limitan al modelo general del ergómetro, a la elaboración de las hojas de ruta de algunas piezas del modelo, a los planos detallados del mismo y a las recomendaciones por parte del diseñado.

4.4.1 Modelo CAD del ergómetro diseñado: general y subsistemas. En este capítulo se expone el modelo diseñado en un aspecto general, asimismo como la explicación del funcionamiento de cada uno de los subsistemas, del modelo en cualquiera de sus usos (kayak o canoa), condiciones de operación y recomendaciones. Los planos en detalle se encuentran en el anexo Q.

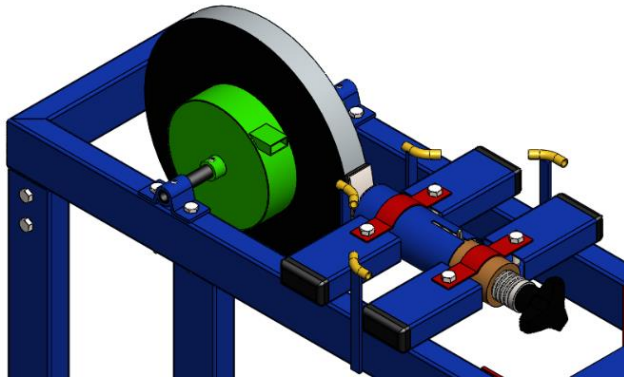
4.4.2 Modelo general del ergómetro diseñado. En cumplimiento de los requerimientos de diseño, del cliente y de las recomendaciones por parte del entrenador de la LSC, se muestra el diseño final (imagen 68) del ergómetro para el entrenamiento de deportistas de alto rendimiento de canotaje en Santander.

Imagen 68. Modelo CAD del ergómetro diseñado sin accesorios.



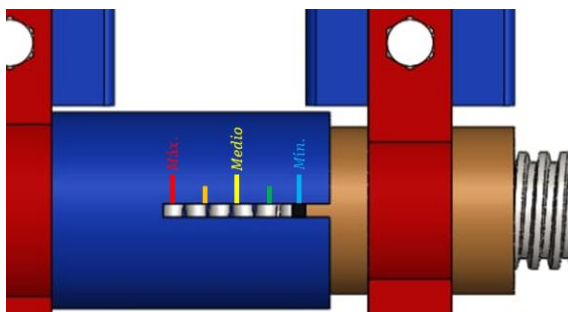
4.4.3 Subsistema de fricción. La explicación del funcionamiento de este subsistema se encuentra en el título 4.6.2. A continuación se muestra el ensamblaje final y el explosionado del mecanismo de fricción.

Imagen 69. Modelo CAD del subsistema de fricción.



La regulación de la fuerza se define en función de la compresión del resorte. En la parte superior del cilindro que lo contiene, se ubica una regla graduada con diferentes niveles de fuerza, desde un mínimo (200 N) hasta un máximo (400 N), con niveles intermedios (Imagen 70).

Imagen 70. Regla graduada del mecanismo de fricción



4.4.4 Disco de inercia y mecanismo de retorno de la cuerda. El disco de inercia en conjunto con el mecanismo de retorno de cuerda, son los encargados de transmitir la resistencia al remador, ya que generan los esfuerzos con relación a la exigencia del deportista (mín., medio y máx.). El funcionamiento completo se explica

Imagen 73. Modelo CAD del bastidor y la base.

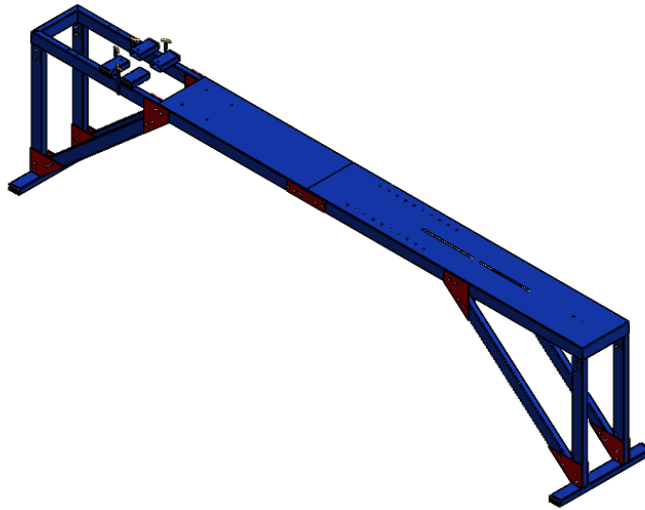


Imagen 74. Modelo CAD del bastidor y la base.

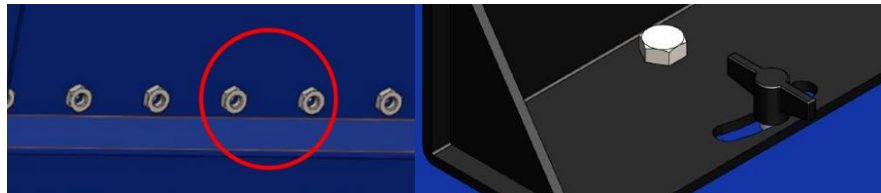
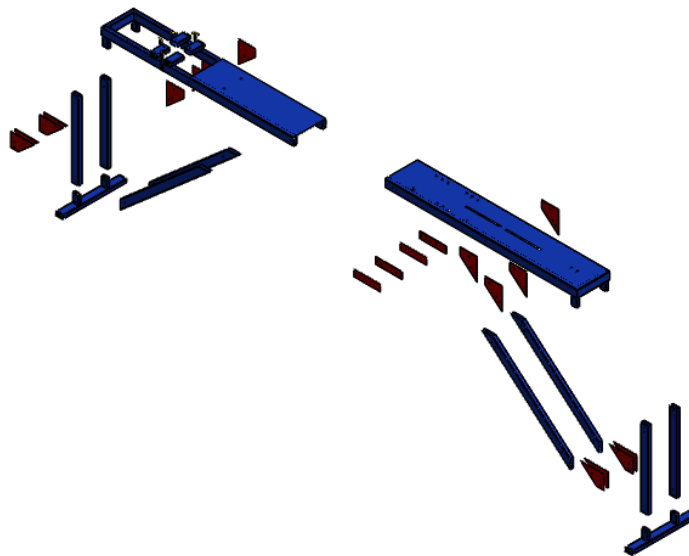
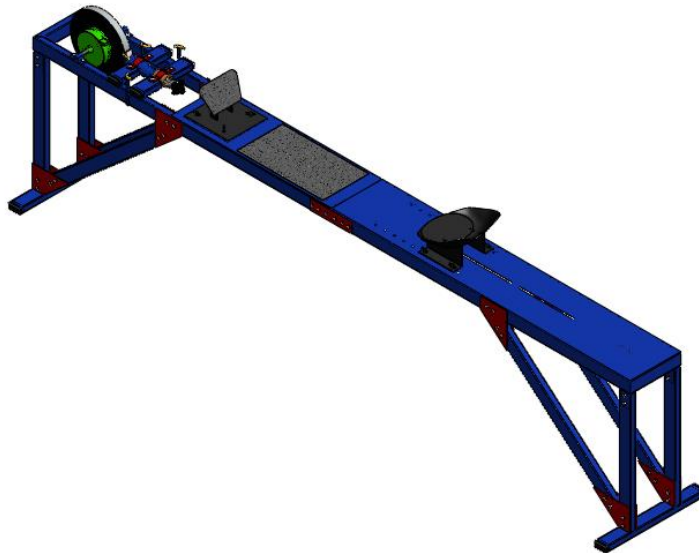


Imagen 75. Explosionado de la base y el bastidor.



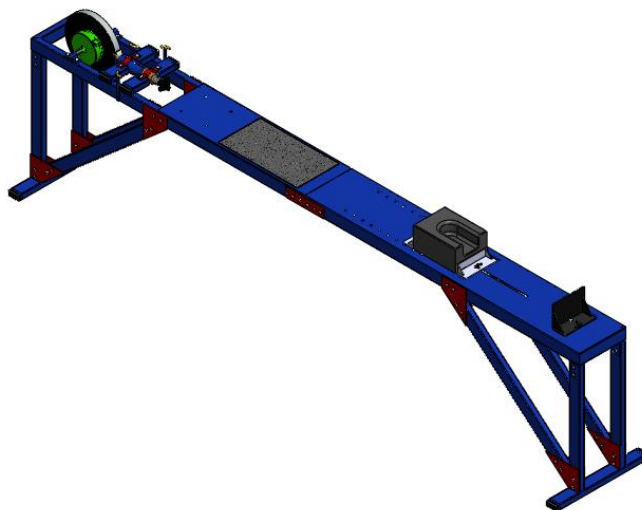
4.4.6 Ergómetro con accesorios de kayak. Se tiene una vista resultante del ergómetro dispuesto para el entrenamiento de un deportista de kayak.

Imagen 76. Ergómetro diseñado con accesorios para kayak.



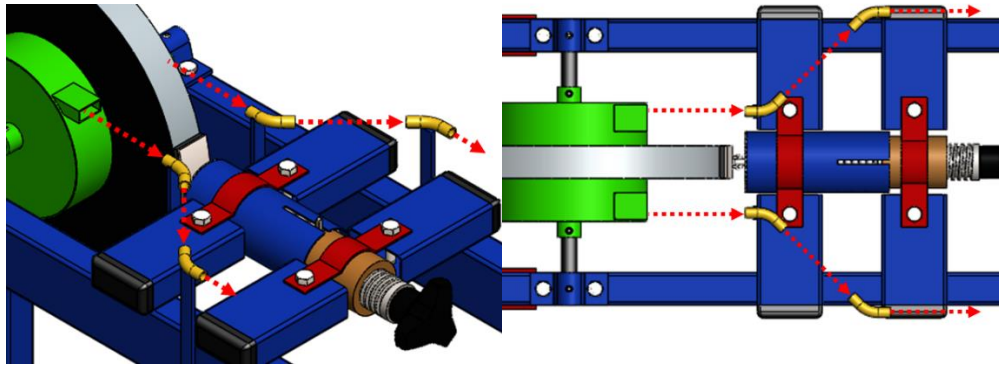
4.4.7 Ergómetro con accesorios de canoa. Se tiene una vista resultante del ergómetro dispuesto para el entrenamiento de un deportista de canoa.

Imagen 77. Ergómetro diseñado con accesorios para canoa.



4.4.8 Disposición de la cuerda.

Imagen 78. Disposición de la cuerda en el ergómetro.



4.4.9 Hojas de ruta de los principales componentes del diseño. Como parte de los objetivos específicos del proyecto, se define el establecer las hojas de ruta de los principales elementos del diseño. Estas condensan las tareas a realizar, con sus operaciones específicas, herramientas por usar, croquis del modelo, tiempos de preparación y de operación, entre otras. Su calidad, por lo tanto, tiene un impacto directo sobre la calidad del diseño.

Las piezas que se eligen son, a criterio de los diseñadores, las de mayor importancia dentro del funcionamiento del modelo, por tanto, se hace énfasis en la calidad de su producción. Las piezas elegidas son:


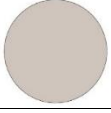
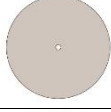

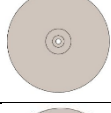
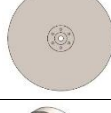

- **Disco de inercia:** la calidad de la superficie de contacto debe ser alta, y los procesos a los que se somete garantizan la durabilidad del mismo. Hace parte fundamental del concepto de ergómetro, pues este se encarga de generar la resistencia en conjunto con el mecanismo de fricción.
- **Resorte en espiral:** se encarga de generar el torque suficiente para devolver la cuerda al tambor en un tiempo específico, tal que cuando el deportista

realiza la posición de ataque ya la cuerda se haya recogido. La fabricación debe seguir los parámetros que resultaron de los cálculos del diseño.

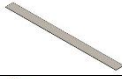




- **Resorte helicoidal:** proporciona una fuerza conocida para el contacto de la zapata con el disco de inercia. Se debe fabricar siguiendo al pie los parámetros de diseño, pues estos definen la calidad en la simulación de esfuerzos para la remada.
- **Base:** funciona de acople para todos los accesorios del tipo de remada que se pretenda simular, asimismo brinda un soporte rígido para el deportista.

A continuación, se enumeran dichas piezas con sus respectivas hojas de ruta.







4.4.9.1 Hoja de ruta del disco de inercia.

HOJA DE RUTA						
Nombre:	DISCO DE INERCIA					Plano nº
						01-02-01
Material	Dimensiones	Cantidad	Fecha	Hoja nº		
Acero 1020	24 cm de diámetro 2.5 cm de espesor	1	19/04/21	1		
OPERACIONES						
Nº de fase	Operación	Descripción	Croquis	Herramienta(s)	Tiempo de preparación (min)	Tiempo de operación (min)
1	CORTE	Se realiza el corte del disco base de una lámina de 25 mm de espesor		CORTADORA CON CHORRO DE AGUA - CNC	10	2
2	CILINDRADO	Definir diámetro del disco en 24 cm		TORNO	6	3
3	TALADRADO	Realizar un agujero de 12 mm de diámetro que atraviesa el disco		TORNO	2	1
4	MANDRINADO	Realizar agujero de 60 mm de diámetro y 3 mm de profundidad		TORNO	4	2
5	MANDRINADO	Realizar agujero de 28 mm de diámetro y 11 mm de profundidad		TORNO	4	2
6	TALADRADO	Realizar seis (6) agujeros de 5 mm de diámetro y 11 mm		TALADRO	5	4
7	CROMADO	Cromar la superficie lateral del disco		CUBA ELECTROLÍTICA	15	10
Tiempo parcial					46	24
Tiempo total					70	
<p>Observaciones: las profundidades en las operaciones 5 y 6 son con respecto a la superficie del disco. La operación 7 consiste en cromar la cara que entra en contacto con del mecanismo de fricción, no todo el disco de inercia.</p>						



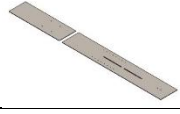
4.4.9.2 Hoja de ruta del resorte en espiral.

HOJA DE RUTA						
Nombre:	RESORTE EN ESPIRAL					Plano nº
						01-02-03
Material	Dimensiones	Cantidad	Fecha	Hoja nº		
AISI 1070	28 mm de diámetro interior 120 mm de diámetro exterior Fleje de 7 mm de ancho Calibre 30 (0.3 mm)	2	19/04/21	2		
OPERACIONES						
Nº de fase	Operación	Descripción	Croquis	Herramienta(s)	Tiempo de preparación (min)	Tiempo de operación (min)
1	CORTE	Se realiza el corte de la longitud necesaria de fleje: 230 cm.		CIZALLA	2	3
2	PUNZADO	Se estampan dos agujeros de 5 mm de diámetro		PUNZÓN	1	1
3	DOBLADO	Con los parámetros dimensionales, dar 10 vueltas al fleje		DOBLADORA	2	2
4	TEMPLADO	Elevar la temperatura hasta 900 °C y enfriar rápidamente		HORNO	1	4
5	REVENIDO	Elevar la temperatura del resorte hasta 450 °C		HORNO	1	4
Tiempo parcial					7	14
Tiempo total					21	
Observaciones: en la operación 5 se deja que la pieza se enfríe a temperatura ambiente.						

4.4.9.3 Hoja de ruta del resorte helicoidal.

HOJA DE RUTA						
Nombre:	RESORTE HELICOIDAL					Plano nº
						01-03-02
Material	Dimensiones	Cantidad	Fecha	Hoja nº		
AISI 1070	10 cm de longitud libre 5 mm de diámetro de alambre 40 mm de diámetro externo 11.25 mm de paso	1	19/04/21	3		
OPERACIONES						
Nº de fase	Operación	Descripción	Croquis	Herramienta(s)	Tiempo de preparación (min)	Tiempo de operación (min)
1	CORTE	Se realiza el corte de la longitud necesaria de alambre: 100 cm.		CIZALLA	2	3
2	LAMINADO	Sus extremos se laminan cónicamente para formar la base		LAMINADORA	1	2
3	DOBLADO	Con los parámetros dimensionales, dar 10 vueltas al alambre		DOBLADORA	1	1
4	TEMPLADO	Elevar la temperatura hasta 900 °C y enfriar rápidamente		HORNO	1	15
5	REVENIDO	Elevar la temperatura del resorte hasta 450 °C		HORNO	1	15
6	RECTIFICADO	Se dejan planas ambas caras del resorte		PULIDORA	1	3
Tiempo parcial					7	39
Tiempo total					46	
Observaciones: en la operación 5 se deja que la pieza se enfríe a temperatura ambiente. En la operación 6 se definen los 10 cm de longitud libre del resorte.						

4.4.9.4 Hoja de ruta de la base.

HOJA DE RUTA						
Nombre:	BASE					Plano nº
						01-01-02
Material	Dimensiones	Cantidad	Fecha	Hoja nº		
Acero comercial	22 cm de ancho 200 cm de largo Calibre 11 (3 mm)	1	19/04/21	4		
OPERACIONES						
Nº de fase	Operación	Descripción	Croquis	Herramienta(s)	Tiempo de preparación (min)	Tiempo de operación (min)
1	CORTE	Se realiza el corte del área necesaria de lámina: 22x200 cm.		CORTADORA LÁSER - CNC	10	2
2	CORTE	Se realizan todos los orificios, ranuras y cortes necesarios		CORTADORA LÁSER - CNC	15	5
3	SOLDADURA	Se añaden tuercas en la parte inferior de los orificios		MÁQUINA PARA SOLDAR - TIPO MIG		
Tiempo parcial					25	7
Tiempo total					32	
<p>Observaciones: el producto resultante es la base dividida en dos partes, necesario para el montaje planteado. El corte por láser es limpio y con niveles de tolerancia de hasta 0.01 mm. La operación 3 suelda tuercas a la parte inferior de los orificios de acople, que sirven para el ajuste de los accesorios a la base.</p>						

5 CONCLUSIONES

- La correcta definición del problema jugó un papel importante en la definición de los parámetros de diseño. La interacción directa con el entrenador de la Selección Santander de Canotaje, Javier Pérez, logró una constante retroalimentación con respecto a las necesidades del deporte. Se concluye con el diseño de un prototipo de ergómetro para el entrenamiento de canoa y kayak, atendiendo a las exigencias del cliente: económico, versátil, de esfuerzo variable, compacto.
- El estudio de la mecánica de la remada aportó puntos clave en el dimensionamiento del bastidor, asimismo como en los componentes que simulan los esfuerzos aplicados durante el entrenamiento del deportista. La revisión de la bibliografía disponible hace un aporte sustancial al desarrollo del proyecto, ya que ahí se logró encontrar información relevante sobre la mecánica de la remada y las ventajas del entrenamiento terrestre, apoyando así la tesis de que esta manera de entrenar es necesaria cuando las condiciones ambientales no son ideales, o cuando el entrenador decida personalizar la jornada de entrenamiento. El ergómetro genera una alternativa económica y eficaz para el apoyo del proceso deportivo de los remadores santandereanos.
- El costo del mismo es mucho menor que su homólogo más económico en el mercado (4.579.190 COP << 14.566.000 COP), lo que cumple con el principal objetivo del proyecto, pues se brinda una solución asequible al problema.
- Se realizan las hojas de ruta de las principales piezas del mecanismo, las cuales motivan una correcta construcción del mismo, pues hacen parte fundamental para que el funcionamiento del ergómetro sea el adecuado.

- La construcción del prototipo representaría un aporte al deporte departamental y nacional, asimismo que a la evolución tecnológica que esto representa. Suma calidad a los entrenamientos, ya que se presenta una alternativa viable, eficaz y que puede garantizar la continuidad de los mismos.
- El diseño es altamente viable a modificaciones en búsqueda de mejoras en la sensación de realismo durante el entrenamiento. Se deja abierto el espacio para que los interesados impulsen esta idea, de la cual, hasta la fecha, no existía trabajo alguno; los autores son pioneros en ello.
- Se anexan animaciones que facilitan el entendimiento del ensamble, tanto del diseño general como de cada uno de sus subsistemas. Este material de multimedia tiene como principal objetivo el funcionar como herramienta didáctica para el usuario.

6 RECOMENDACIONES

Para el correcto ensamblaje y funcionamiento se definen las siguientes recomendaciones:

- **Cambio de la banda flexible:** cuando se observe que la banda sufre un desgaste y no esté cumpliendo adecuadamente su función, deberá cambiarse por un segmento de iguales medidas y adherirse con pegamento.
- **Disco de inercia:** si se observa que la superficie de contacto está mostrando señales de desgaste (se desprende el cromado), entonces este deberá someterse nuevamente a este tratamiento.
- **Cuerda:** la cuerda está en constante roce con superficies que pueden desgastar la misma. Cambiar cuando se crea necesario. Para esto habrá que desmontar el mecanismo de retorno de la cuerda, por lo que se deberá guiar de los planos del modelo.
- **Cambio de accesorios:** cada vez que se necesite usar en el tipo de bote que se necesite entrenar, se recomienda ajustar bien las mariposas a la base, para así evitar movimientos innecesarios que disminuyan la vida útil de estos.
- **Ergómetro:** no está diseñado para mantener al aire libre, sino para entrenamiento terrestre bajo techo, por lo que se recomienda evitar sumergirlo en agua o dejar a la intemperie.
- **Lubricación:** factores climáticos o de simple uso pueden hacer que la lubricación de ciertas partes del diseño se vea reseca, por lo que se recomienda lubricar periódicamente los rodamientos, base del resorte en espiral y helicoidal.
- **Superficie rugosa:** la lija que funciona como superficie rugosa puede dejar de cumplir su función con el uso constante. Se recomienda cambiar cuando esta ya no cumpla su función. Adhlerirla con pegamento.

BIBLIOGRAFÍA

ALACID CÁRCELES, Fernando. Enseñanza del piragüismo: técnica de paleo en canoa. España. 2007. pp. 6. [Consultado: 18 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/hcnbb>

Aloha Sports. Los músculos que se trabajan haciendo kayak [en línea]. España. 2018. [Consultado: 14 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/nffhe>

Archivos de medicina del deporte [en línea]. Murcia (España): Sociedad Española de Medicina del Deporte. 2016, nro. 33, 1. [Consultado: 02 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2HUZB1E>. ISSN: 0212 8799.

BAKER, John. Evaluation of biomechanical performance related factors with onwater tests [en línea]. Vrijens J. Proceedings of an International Seminar on Kayak-Canoe Coaching and Science. Ghent, Belgium: International Canoe federation. 1998. p. 50-66. [Consultado: 23 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/n9fd>

BARRIOS, Nidia. Análisis de la técnica de kayak de tipo olímpico en aguas tranquilas y su comparación con el movimiento realizado en ergómetro de kayak [en línea]. México. Universidad Nacional Autónoma de México. 2006. [Consultado: 03 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3830vEe>

BARSALOU, Miriam. CUPKA, Matthew y FEDAS Nick. Kayak Exerciser Machine [en línea]. Boston. 18 de abril 2006. 72 p. Consultado: 25 de noviembre 2020. Disponible en: <https://n9.cl/osur>

BIOTECH ERGÓMETROS. Biotech Ergómetros [sitio web]. Argentina. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/8uynd>

CAMERON, Galipeau. The on-water instrumentation of a sprint canoe paddle [en línea]. Canadá. 2018. McMaster University. Department of Mechanical Engineering. p. 61. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/xj4un>

CARRASCO, Luis. Ergometric testing for top-level kayakers: validity and reliability of a discontinuous graded exercise test [en línea]. Eslovenia. Universidad de Liubliana. 2010. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/25wi>

CAUBETI MOLINA, Josep. Estudio comparativo de los parámetros cinemáticos de la técnica del paleo en un ergómetro de piragüismo y en agua [en línea]. España: issue, 1999, vol 34. Consultado: 9 de octubre de 2020. Disponible en: <https://n9.cl/7dh60>

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Decreto 531 (8, abril, 2020). Por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por la pandemia del Coronavirus COVID-19, y el mantenimiento del orden público [en línea]. Santa Fe de Bogotá D.C.: El Ministerio, 2020. p. 16. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/37XDRx1>

CuidatePlus. Ergómetros para entrenamientos a medida [en línea]. España. 2002. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/4ura>

DAVIS, S; GARVIN, E y CALLAGMAN, C. Validity and test-retest reliability of the staimaster crossrobics. Medicine a Science in Sports and Exercise. 1996. Vol. 28.

DEL PILAR SEPÚLVEDA, Enoe. Ladrones hurtan la sede de la Liga de Canotaje [en línea]. En: Vanguardia Liberal. Barrancabermeja, 04 de marzo de 2014. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2HR32X6>

DEPORTES ACUÁTICOS. Piragüismo: historia, modalidades... [en línea]. España. 2012. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/jxmr2>

DFdeportes. La preparación física especial [en línea]. Cuba. 2004. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/zg65>

DIMOND, Alex. Los rayos y la seguridad en los deportes al aire libre: ¡cuando se oyen truenos no más juego! [en línea]. EEUU. 2020. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/fcd7d>

FCC. Federación Colombiana de Canotaje [en línea]. Colombia. 2018. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/pcpt>

FLEMING, Neil, et al. Una evaluación biomecánica de la especificidad de la tarea del ergómetro en kayakistas de aguas tranquilas de élite. Irlanda. Revista de Medicina y Ciencias del Deporte. 2011. pp. 20. PMID: 24149118. p. 2.

GARCÍA, Martha, et al. Cuánta agua nos queda la oferta hídrica [en línea]. Colombia. 2012. p. 31 - 44. IDEAM. ISSN: 2256-3512. Disponible en: <https://bit.ly/388D4Jv>

HURTADO ISAZA, Julia. Somos la sede de la Liga Santandereana de Canotaje [en línea]. En: Vanguardia. Barrancabermeja. Octubre 30 del 2008. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/sime>

ICF. CanoelCF [sitio web]. Suiza. [Consultado: 04 de noviembre del 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/7f7je>

KAYAKFIRST. KayakFirst [sitio web]. Hungría. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3eehjce>

KAYAKPRO. KayakPro [sitio web]. EEUU. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3jLYjTV>

KRUSE, Melanie. Diferencia entre kayak y canoa y piragua [en línea]. España. 2010. [Consultado: 04 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/j2gpi>

ORGANIZACIÓN PARAMERICANA DE LA SALUD. La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia [en línea]. EEUU. [Consultado: 31 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/35VLQrT>

PD, Campagna. LE, Holt y AB, Alexander. A kayak ergometer for dry-land testing and conditioning [en línea]. En: 4º Simposio Internacional de Biomecanica en el Deporte, 04, 2008. Disponible en: <https://n9.cl/8842>

PÉREZ, Sergio; LORENZO, Héctor y GARCÍA, Luis. Evolución dinámica y cinemática sobre 200m en kayakistas senior de aguas tranquilas [en línea]. Vigo, España. Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física (FEADEF). 2015. p. 3. ISSN: 1988-2041. [Consultado: 3 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/vgsqm>

Redacción Médica. Ergometría [en línea]. España. 2020. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/12g0>

UCAM, Universidad Católica de Murcia. David Cal Figueroa [en línea]. España. [Consultado: 23 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/92ah>

ANEXOS

ANEXO A. Cotización KayakPro.

Your order

Product	Total
COMPACT Kayak Ergometer - Colombia × 1	\$2,650.00
SpeedStroke Gym Canoe Ergometer (C1N) - Colombia × 1	\$2,900.00
Subtotal	\$5,550.00
Shipping	Flat Rate: \$920.00
Tax	\$0.00
Total	\$6,470.00

ANEXO B. Cotización Biotech.



Freddy Gómez <freddy1997gomez@gmail.com>

para ventas

Buen día. Cordial saludo.

Estoy interesado en cotizar los siguientes productos:

1. C1 MULTI ERGO (cantidad: 1)
2. K1 MOD CLUB (cantidad: 1)

Sus costos con envío a Bucaramanga, (COL).

Muchas gracias. Espero su respuesta.



BIOTECH ERGOMETROS <ventas@biotechergometros.com>

para mí

Buen dia Freddy, ¿cómo estás ?

Estan complicados los envios internacionales desde aqui

los costos de exportación y trámites son altos

El Precio de cada ergo es U\$D1000

ANEXO C. Cotización KayakFirst.

Carrito de compras

Tienda (<https://kayakfirst.com/en/paddling-machine-shop/>) / Carro de compras (<https://kayakfirst.com/en/paddling-machine-shop/cart>)

Canoa Ergómetro
Elección de color: Azul (código de color: RAL 5015)
Cantidad: 2
€3 798.00 (≈ \$17 149 218.78)

Pértiga de carbono ajustable para kayak
Cantidad: 1 €89.00 (≈ \$401 864.26)

<https://kayakfirst.com/en/paddling-machine-shop/cart>

2/11/2020

Cuerda Dyneema 5mm - 7m
Cantidad: 1 €14.00 (≈ \$63 214.60)

Kayak Plataforma Deslizante
Elección de color: Negro
Cantidad: 1 €339.00 (≈ \$1 530 696.46)

Kayak Ergómetro
Kayak Plataforma Deslizante: Kayak Plataforma Deslizante
Elección de color: Azul (código de color: RAL 5015)
Pértiga de carbono ajustable para kayak: Pértiga de carbono ajustable para kayak
Cantidad: 1
€1 727.00 (≈ \$7 797 972.84)

Subtotal €5 967.00 (≈ \$26 942 966.95)

Envío o entrega €2 394.00 (≈ \$10 809 697.15)

TOTAL €8 361.00 (≈ \$37 752 664.10)

¿Tiene un código promocional? Canjee su cupón

¿Falta un producto? Seguir comprando

ANEXO D. Silla para kayak suministrada por la Liga Santandereana de Canotaje.



ANEXO E. Validación del ancho de la base del bastidor.

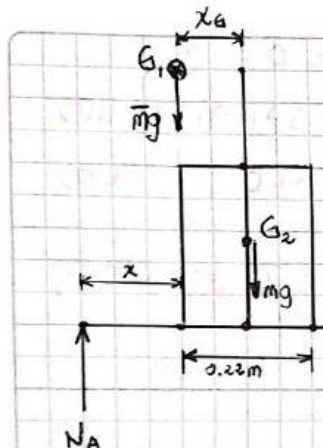


Diagram showing a person on a boat. The person's center of mass is at G_1 and the boat's center of mass is at G_2 . The distance from the left base to G_1 is x_G . The distance from the left base to G_2 is x . The distance between the two bases is 0.22 m . Normal forces N_A and N_B act upwards at the bases. Gravity forces $\bar{m}g$ and mg act downwards from G_1 and G_2 respectively.

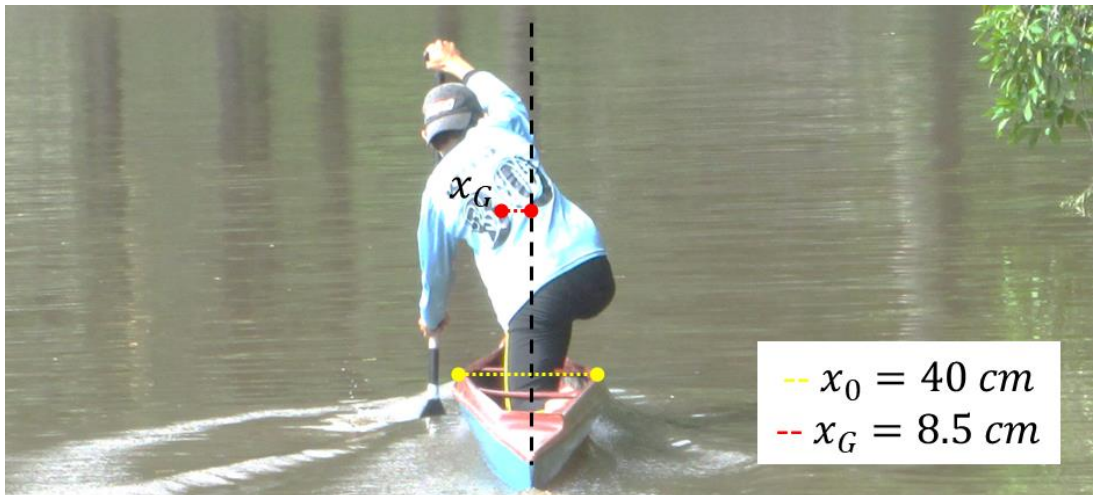
\odot Giro inminente: $N_B = 0\text{ N}$.
 $\oplus \sum M_{G_2} = 0$
 $(\bar{m}g)(x_G) - (N_A)(x + 0.11) = 0 \quad \text{Ⓘ}$
 $\oplus \sum F_y = 0$
 $N_A - mg - \bar{m}g = 0 \quad \text{Ⓢ}$
 Despejando x de Ⓘ y Ⓢ.

$$x = \frac{\bar{m}x_G}{m + \bar{m}} - 0.11$$

Para valores de $\bar{m} = 100\text{ kg}$ (sobre). y $m \cong 50\text{ kg}$
 con $x_G \cong 0.085\text{ m}$

$\hookrightarrow x \cong -0.0533\text{ m} < 0$ y no hay volcamientos.

Sin embargo, se deciden poner bases de 10 cm de ancho ($x = 10\text{ cm}$) por alguna eventualidad particular.



ANEXO F. Cálculos del mecanismo de retorno de la cuerda.

Mecanismo de retorno de cuerda:

Inercia: se aproxima a la de un disco macizo.

$$\bar{I} = \frac{1}{2} m_1 r_s^2$$

con $m_1 = \rho_1 V_1$; $V_1 = \frac{\pi}{2} r_s^2 e_1$
 con $r_s \cong 6 \text{ cm}$ y $e_1 \cong 3 \text{ cm}$
 Material: acero de $\rho_1 \cong 9860 \text{ kg/m}^3$

Cinemática:

$$\alpha = \frac{2\Delta\theta}{t_a^2} \quad ; \quad t_a: \text{ tiempo de fase aérea.}$$

$$\Delta\theta: \text{ desplazamiento angular.}$$

$$\Delta\theta = \frac{L_1}{r_s} \quad , \quad L_1: \text{ longitud de la remada.}$$

Cinética:

$$M_0 = \bar{I}_1 \alpha \quad ; \quad K \Delta\theta = \bar{I}_1 \alpha$$

$$\left\{ K = \frac{\bar{I}_1 \alpha_1}{\Delta\theta} \right\} \text{ Expresión para obtener el valor de } K \text{ del resorte.}$$

"CÓDIGO EN EES DEL RESORTE EN ESPIRAL"

"Incógnita: n, número de vueltas"

$L_1 = 1,8$ "(m), longitud de la cuerda a enrollar"

$r_1 = 0,014$ "(m), radio menor del resorte"

$r_2 = 0,04$ "(m), radio del tambor donde se enrolla la cuerda"

$r_3 = 0,06$ "(m), radio mayor del resorte"

$e_1 = 0,03$ "(m), espesor del mecanismo de retorno"

$\rho_1 = 7860$ "(kg/m³), densidad del material a usar: acero"

$t_{aer} = 1$ "(s), tiempo de la fase aérea"

$E = 210 \cdot 10^9$ "(Pa), módulo de elasticidad del material: acero"

$b = 0,007$ "(m), ancho de la lámina del resorte"

$h = 0,0003$ "(m), espesor de la lámina del resorte"

$k = 0,15$ "constante de ajuste para el volumen, pues el mecanismo es hueco. Se modela el mecanismo y se determina el valor del volumen real, el cual corresponde al 15 % de la suposición de que fuera sólido"

$M_o = I_1 \cdot \alpha_o$ "ecuación cinética"

$I_1 = ((m_1) \cdot (r_3)^2) / 2$ "momento de inercia, asumiendo que el mecanismo es macizo"

$m_1 = \rho_1 \cdot V_1$ "masa del mecanismo"

$V_1 = k \cdot (\pi) \cdot (r_3^2) \cdot e_1$ "volumen del mecanismo"

$\alpha_o = (2 \cdot \Delta \theta) / (t_{aer}^2)$ "aceleración angular para el retorno de la cuerda"

$\Delta \theta = L_1 / r_2$ "desplazamiento angular"

"De la bibliografía se obtuvo una ecuación importante para estos cálculos, la cual establece la relación entre el ángulo girado, los radios mayor y menor, módulo del material, inercia de la sección y momento aplicado"

$\Delta \theta = (M_o / (E \cdot I_a)) \cdot ((\pi \cdot n) \cdot (r_1 + r_3))$ "ecuación obtenida de la bibliografía para resortes con alta variabilidad de par"

$I_a = (1/12) \cdot b \cdot h^3$ "inercia de la sección de la lámina del alambre"

Resultados:

$$\alpha_o = 90 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

$$b = 0,007 \text{ [m]}$$

$$\Delta \theta = 45 \text{ [rad]}$$

$$E = 2,100E+11 \text{ [Pa]}$$

$$e_1 = 0,03 \text{ [m]}$$

$$h = 0,0003 \text{ [m]}$$

$$I_1 = 0,00072 \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$I_a = 1,575E-14 \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

$$L_1 = 1,8 \text{ [m]}$$

$$m_1 = 0,4 \text{ [kg]}$$

$$M_o = 0,0648 \text{ [N-m]}$$

$$n = 10$$

$$\rho_1 = 7860 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$r_1 = 0,014 \text{ [m]}$$

$$r_2 = 0,04 \text{ [m]}$$

$$r_3 = 0,06 \text{ [m]}$$

$$t_{aer} = 1 \text{ [s]}$$

$$V_1 = 0,00005089 \text{ [m}^3\text{]}$$

ANEXO G. Propiedades del acero AISI 1070.

MatWeb MATERIAL PROPERTY DATA Advertise with MatWeb! REGISTER NOW

Data sheets for over 150,000 metals, plastics, ceramics, and composites.

HOME • SEARCH • TOOLS • SUPPLIERS • FOLDERS • ABOUT US • FAQ • LOG IN

Searches: [Advanced](#) | [Category](#) | [Property](#) | [Metals](#) | [Trade Name](#) | [Manufacturer](#) | [Recently Viewed Materials](#)

Design better products. Solve problems faster.  Industrial Metallurgists

Metallurgy webinars - learn about the metals used in your products
Topics: steel, aluminum, failure analysis, corrosion, cast iron, electroplating, and more

AISI 1070 Steel, cold drawn, spheroidized, annealed, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [High Carbon Steel](#)

Material Notes: High-carbon steel, good for wire which exhibits a high tensile strength and is heat treatable.
Key Words: UNS G10700, carbon steels
Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

[Printer friendly version](#) [Download as PDF](#) [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)
[Export data to your CAD/FEA program](#) Add to Folder: My Folder

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	192	192	
Hardness, Knoop	214	214	Converted from Brinell
Hardness, Rockwell B	91	91	Converted from Brinell
Hardness, Rockwell C	11	11	Converted from Brinell hardness. Value below normal HRC range, for comparison purposes only.
Hardness, Vickers	201	201	Converted from Brinell
Tensile Strength, Ultimate	640 MPa	92800 psi	
Tensile Strength, Yield	495 MPa	71800 psi	
Elongation at Break	10 %	10 %	In 50 mm
Reduction of Area	45 %	45 %	
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical For Steel
Machinability	55 %	55 %	Based on AISI 1212 steel. as 100% machinability
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel

Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity 	0.0000168 ohm-cm @ Temperature 0.000 °C	0.0000168 ohm-cm @ Temperature 32.0 °F	condition of specimen unknown
	0.0000230 ohm-cm @ Temperature 100 °C	0.0000230 ohm-cm @ Temperature 212 °F	condition of specimen unknown

Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.490 J/g-°C @ Temperature >=100 °C	0.117 BTU/lb-°F @ Temperature >=212 °F	condition unknown
Thermal Conductivity	49.8 W/m-K	346 BTU-in/hr-ft ² -°F	Typical steel

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.65 - 0.75 %	0.65 - 0.75 %	
Iron, Fe	98.26 - 98.75 %	98.26 - 98.75 %	As remainder
Manganese, Mn	0.60 - 0.90 %	0.60 - 0.90 %	
Phosphorus, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Users viewing this material also viewed the following:
[AISI 1070 Steel, hot rolled, 19-32 mm \(0.75-1.25 in\) round](#)
[AISI 1074 Steel, cold drawn, spheroidized, annealed \(discontinued\)](#)
[AISI 1075 Carbon Steel Bar](#)
[ASTM A897 Grade 2 \(150-100-07 or 150-110-7\) Austempered Ductile Iron](#)
[AISI 1060 Steel, cold drawn, spheroidized annealed, 19-32 mm \(0.75-1.25 in\) round](#)

M1070A / 7073

[Subscribe to Premium Services](#)

Searches: [Advanced](#) • [Composition](#) • [Property](#) • [Material Type](#) • [Manufacturer](#) • [Trade Name](#) • [UNS Number](#)
 Other Links: [Advertising](#) • [Submit Data](#) • [Database Licensing](#) • [Web Design & Hosting](#) • [Trade Publications](#)
[Supplier List](#) • [Unit Converter](#) • [References](#) • [Links](#) • [Help](#) • [Contact Us](#) • [Site Map](#) • [FAQ](#) • [Home](#)

[Follow @MatWeb](#)

Please read our [License Agreement](#) regarding materials data and our [Privacy Policy](#). Questions or comments about MatWeb? Please contact us at webmaster@matweb.com. We appreciate your input.

The contents of this web site, the MatWeb logo, and "MatWeb" are Copyright 1996-2021 by MatWeb, LLC. MatWeb is intended for personal, non-commercial use. The contents, results, and technical data from this site may not be reproduced either electronically, photographically or substantively without permission from MatWeb, LLC.

"CÓDIGO EN EES PARA EL RESORTE MECANISMO DE FRICCIÓN"

"Incógnitas: p, paso; D_alambre, diámetro del alambre"

y = 0,04 "(m), compresión máxima del resorte"

k = 11328 "(N/m), constante del resorte"

G = 80E9 "(Pa), módulo de cizalladura"

F = k*y "(N), fuerza máxima aplicada"

R_esb = L_f/D_m "Relación de esbeltez: < 4, no pandea"

D_m = 0,040 "(m), diámetro del muelle"

L_f = 0,1 "(m), longitud libre del resorte"

N_e = 2 "Número de espiras de los extremos (no efectivas)"

N_t = N_a + N_e "Número de espiras totales"

N_a = 8 "Número de espiras activas"

p = (L_f - 2*D_alambre)/N_a "(m), paso"

C = D_m/D_alambre "Índice del resorte"

k = (G*D_alambre^4)/(8*D_m^3*N_a) "Relación de la constante de elasticidad"

tau_s = K_w*(8*F*D_m)/(pi*D_alambre^3) "(Pa), esfuerzo tangencial"

K_w = (4*C-1)/(4*C-4) + 0,615/C "Factor de corrección por curvatura y cortante directo"

sigma_f = 495E6 "Esfuerzo de fluencia del material"

p_mm = p*1000 "Paso en mm"

D_alambre_mm = D_alambre*1000 "Diámetro de alambre en mm"

D_m_mm = D_m*1000 "Diámetro medio en mm"

F.S._s = sigma_f/tau_s "Factor de seguridad por esfuerzo tangencial (>1)"

De donde resulta:

ANEXO H. Resorte del mecanismo de fricción.

$C = 8,151$	$D_{\text{alambre}} = 0,004907 \text{ [m]}$	$D_{\text{alambre,mm}} = 4,907 \text{ [mm]}$
$D_m = 0,04 \text{ [m]}$	$D_{m,\text{mm}} = 40 \text{ [mm]}$	$F = 453,1 \text{ [N]}$
$F.S._s = 1,074$	$G = 8,000E+10 \text{ [Pa]}$	$k = 11328 \text{ [N/m]}$
$K_w = 1,18$	$L_f = 0,1 \text{ [m]}$	$N_a = 8$
$N_e = 2$	$N_t = 10$	$p = 0,0112731 \text{ [m]}$
$P_{mm} = 11,27 \text{ [mm]}$	$R_{\text{esb}} = 2,5$	$\sigma_f = 4,950E+08 \text{ [Pa]}$
$\tau_s = 4,609E+08 \text{ [Pa]}$	$y = 0,04 \text{ [m]}$	

Normalizando el diámetro del alambre al más cercano en catálogo: $D_{\text{alambre}} = 5 \text{ mm}$. Recalculando:

$C = 8,202$	$D_{\text{alambre}} = 0,005 \text{ [m]}$	$D_{\text{alambre,mm}} = 5 \text{ [mm]}$
$D_m = 0,04101 \text{ [m]}$	$D_{m,\text{mm}} = 41,01 \text{ [mm]}$	$F = 453,1 \text{ [N]}$
$F.S._s = 1,109$	$G = 8,000E+10 \text{ [Pa]}$	$k = 11328 \text{ [N/m]}$
$K_w = 1,179$	$L_f = 0,1 \text{ [m]}$	$N_a = 8$
$N_e = 2$	$N_t = 10$	$p = 0,0112500 \text{ [m]}$
$P_{mm} = 11,25 \text{ [mm]}$	$R_{\text{esb}} = 2,438$	$\sigma_f = 4,950E+08 \text{ [Pa]}$
$\tau_s = 4,464E+08 \text{ [Pa]}$	$y = 0,04 \text{ [m]}$	

"CÓDIGO EN EES PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA ZAPATA"

$F = 453$ "(N), fuerza máxima proporcionada por el resorte"
 $e_2 = 2,5/100$ "(m), ancho de la zapata"
 $\sigma_y = 250E6$ "(Pa), límite de fluencia del acero estructural"

$A = e_1 * e_2$ "Área de la sección"

$\sigma_{\text{perm}} = F/A$ "Esfuerzo permisible"

$F.S. = \sigma_y / \sigma_{\text{perm}}$ "Factor de seguridad > 1"

$F.S. = 1$ "Condición crítica"

De donde se obtienen las siguientes respuestas:

ANEXO I. Espesor de la zapata.

$$A = 0,000001812 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$e_2 = 0,025 \text{ [m]}$$

$$F.S. = 1$$

$$\sigma_y = 2,500E+08 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$e_1 = 0,00007248 \text{ [m]}$$

$$F = 453 \text{ [N]}$$

$$\sigma_{perm} = 2,500E+08 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Se decide usar lámina de 2 mm de espesor.

ANEXO J. Fotografía del borrador de decisión sobre las fuerzas del ergómetro.

Kayak : $F_c = 238 \pm 22 \text{ N (} \checkmark \text{260 N) (500 m)}$
 $F_c = 267 \pm 54,01 \text{ N (321,01 N) (200m)}$
 $F_c = 375 \text{ N (PICO) (1000m)}$
canoa : $F_c = 257 \text{ N (PICO) (1000 m)}$
 $F_c = 337 \text{ N (PICO) (200 m)}$

Rango : kayak : [220 ; 375] (N)
 canoa : [230 ; 337] (N)

Valores para F_c : [220 ; 375]
Redondeo : F_c : [200 ; 400] (N).

se diseña para $F_c = 200 \text{ N}$
luego para $F_c = 400 \text{ N}$
como N es irreal, F_c también.

ANEXO K. Cálculos del radio del disco de inercia y de la constante del resorte.

Mecanismo de fricción:

como $m_2 \gg m_1$; $I_1 + J_2 \approx I_2$

La inercia se homologa con la de un disco macizo:

$$\bar{I} = \frac{1}{2} m r_2^2$$

Material: fricción: f definida.

$m = \rho V$; $V = \frac{\pi}{2} r_2^2 h$; h es el espesor.
 se define un espesor de 2.5 cm. ($h = 0.04$ m).

Incógnitas: r_2 y α .

Inicio desde el reposo: $\omega_1 = 0$ rad/s.

$$\Delta\theta = \omega_1 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\hookrightarrow \alpha = \frac{2\Delta\theta}{t^2}$$

con $\Delta\theta = \frac{L}{r_2}$; definiendo $r_2 = 4$ cm
 L es la longitud de la remada.
 t es el tiempo que dura la fase acústica.

DD MM AA

$$\oplus \sum M_G = \sum (M_G)_n$$

$$-F r_1 + F r_2 = I \alpha$$

con F definido como la F_{\max} durante el halón en la fase acvática.

$$F_r = \mu \cdot N$$

μ : coeficiente estático para arrancar, dinámico cuando ya está en movimiento.

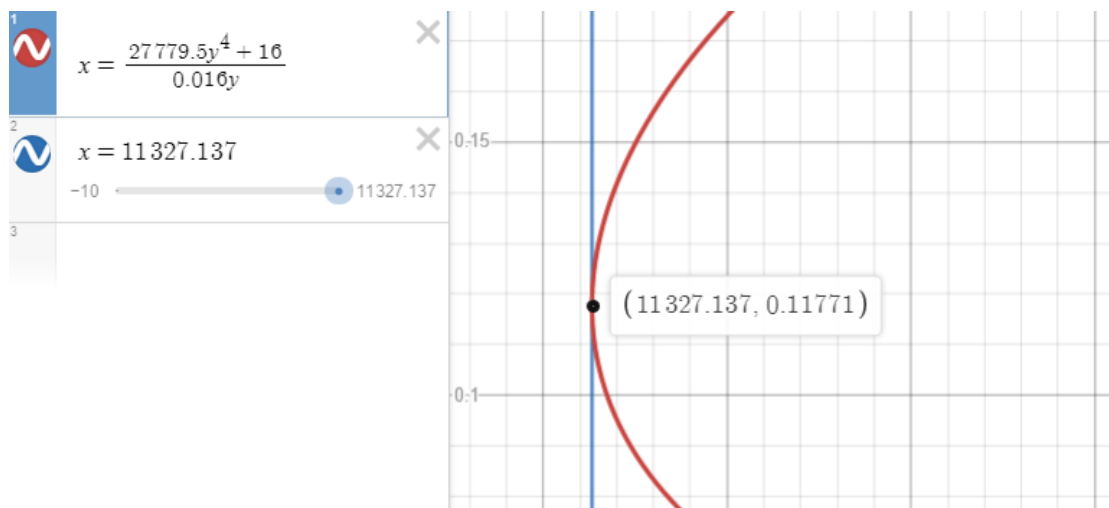
$N = k \cdot \Delta s \rightarrow$ lo que se comprime el resorte.
 \hookrightarrow constante del resorte

Se evalúa y se obtiene una función que se muestra a continuación:

$$(0.4)(k)(0.04)(r_4) - (400)(0.04) = \frac{1}{2}(7860)(\pi)(r_4)^2(0.025)(r_4)^2 \left[\frac{(2)(1.8)}{(0.04)(1)^2} \right]$$

$$0.016kr_4 - 16 = 27779.5r_4^4$$

Graficando para ver qué valor genera el mínimo de k para un valor de r_4 .



Se determina que los valores correspondientes de k y r_4 son 11327.137 (N/m) y 0.1177 (m), respectivamente. Se evalúa en el código de EES para la corroboración de estos datos.

"CÓDIGO EN EES DEL DISCO DE INERCIA"

rho_2 = 7860 "(kg/m^3), acero inoxidable"
 F_c = 400 "(N), máxima fuerza de entrada"
 mu = 0,4 "0,3 - 0,5. Promedio: 0,4. Banda tejida - IDE S.A.S"
 e_2 = 0,025 "(m), espesor del disco de inercia"
 DELTAs = 0,04 "(m), compresión máxima del resorte"
 t_acu = 1 "(s), tiempo de la fase acuática. Extraído de la bibliografía"
 L_1 = 1,8 "(m), longitud de la remada - cuerda"
 r_2 = 0,04 "(m), radio del tambor donde se recoge la cuerda"
 k = 11328 "(N/m), constante del resorte que hace mínimo r_4"

$F_r \cdot r_4 - F_c \cdot r_2 = I_2 \cdot \alpha$ "Ecuación cinética del disco"

$F_r = \mu \cdot N$ "Fuerza de fricción"

$N = k \cdot \text{DELTA}s$ "Fuerza normal"

$I_2 = (1/2) \cdot (m_2) \cdot (r_4^2)$ "Inercia del disco"

$m_2 = \rho_2 \cdot V_2$ "Masa del disco"

$V_2 = (\pi) \cdot (r_4^2) \cdot (e_2)$ "Volumen del disco"

$\alpha = (2 \cdot \text{DELTA}\theta) / (t_{acu}^2)$ "Aceleración angular en tracción"

$\text{DELTA}\theta = L_1 / r_2$ "Desplazamiento angular en tracción"

Arrojando los siguientes valores:

$$\alpha = 90 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

$$F_c = 400 \text{ [N]}$$

$$L_1 = 1,8 \text{ [m]}$$

$$\rho_2 = 7860 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_2 = 0,001104 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\Delta s = 0,04 \text{ [m]}$$

$$F_r = 181,2 \text{ [N]}$$

$$\mu = 0,4$$

$$r_2 = 0,04 \text{ [m]}$$

$$\Delta\theta = 45 \text{ [rad]}$$

$$I_2 = 0,06097 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2\text{]}$$

$$m_2 = 8,676 \text{ [kg]}$$

$$r_4 = 0,12 \text{ [m]}$$

$$e_2 = 0,025 \text{ [m]}$$

$$k = 11328 \text{ [N/m]}$$

$$N = 453,1 \text{ [N]}$$

$$t_{acu} = 1 \text{ [s]}$$

ANEXO L. Cálculos del eje del disco.

Eje

Frontal

Lateral

Por simetría: $R_{1x} = R_{2x}$; $R_{1y} = R_{2y}$; $R_1 = R_2$
 Para $F_{\max} = 400 \text{ N}$; $N = 453 \text{ N}$; $m_2 = 8.68 \text{ kg}$

ESTÁTICA

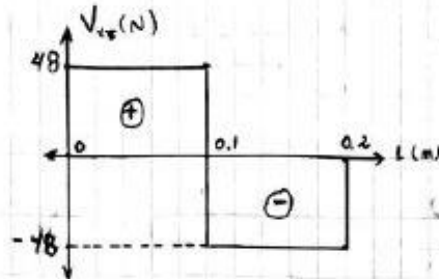
⊕ $\sum F_y = 0$; $2R_y + F_r - m_2g = 0$
 $2R_y + (0.4)(453) - (8.68)(9.81) = 0$
 $\hookrightarrow \{ R_y = 48 \text{ N} \downarrow \}$

⊕ $\sum F_x = 0$; $2R_x + N - F_{\max} = 0$
 $-2R_x + 453 - 400 = 0$
 $\hookrightarrow \{ R_x = 27 \text{ N} \leftarrow \}$

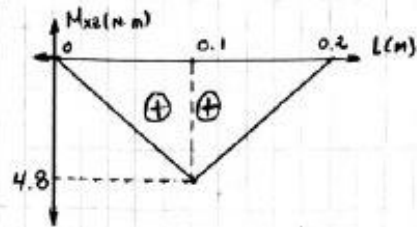
⊙ $\sum T = T_f$
 $T_F - T_f = T_f$; $F_{\max} \cdot r_2 - MNr_1 = T_f$
 $(400)(0.04) - (0.4)(453)(0.12) = T_f$
 $\hookrightarrow \{ T_f = 5.744 \text{ N} \cdot \text{m} \curvearrowright \}$

Plano Xz:

Cortante:

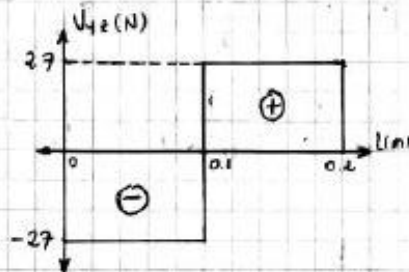


Flector:

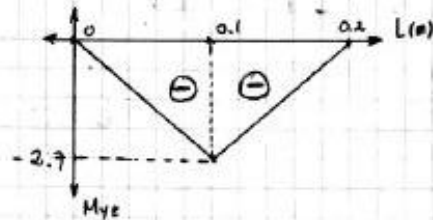


Plano Yz:

Cortante:



Flector:



Por simetría de reacciones: solo se analiza un plano.

Esfuerzos:

$$\text{Cortante: } \tau_{\max} = \frac{F_R}{A} + \frac{M_C}{I} \leq 250 \text{ MPa}$$

$$F_R = \sqrt{(48)^2 + (27)^2} = 55.07 \text{ N}$$

$$A = \pi (r_{\text{ext}}^2 - r_{\text{int}}^2)$$

$$I = \frac{\pi}{4} (r_{\text{ext}}^4 - r_{\text{int}}^4); \quad r_{\text{int}} = r_{\text{ext}} - t; \quad t = 1.5 \text{ mm}$$

$$\text{Flector: } \tau_{\max} = \frac{M r_{\text{ext}}}{I}; \quad M = 5.794 \text{ N.m}$$

$$\tau_{\max} \leq 250 \text{ MPa}$$

De aquí se calcula un radio y se compara con el de cortante, se escoge el mayor.

"CÓDIGO EN ESS DEL EJE"

F_R = 55,07 "(N), fuerza resultante"
t = 1,5/1000 "(m), espesor del tubo"
T_máx = 5,744 "(N*m), torque máximo"
M_máx = 4,8 "(N*m), momento máximo"
sigma_y = 250*10**6 "(Pa), límite de fluencia del material"

"A flexión"

A_flex = pi*(r_o_flex**2 - r_i_flex**2) "(m^2), área de la sección"

I_flex = (pi/4)*(r_o_flex**4 - r_i_flex**4) "(m^4), inercia de la sección"

r_i_flex = r_o_flex - t "(m), radio interno"

sigma_perm_flex = M_máx*r_o_flex/I_flex "Esfuerzo máximo a flexión"

F.S._flex = sigma_y/sigma_perm_flex "Factor de seguridad"

F.S._flex = 1 "Condición crítica"

"A cortante"

A_cort = pi*(r_o_cort**2 - r_i_cort**2) "(m^2), área de la sección"

I_cort = (pi/4)*(r_o_cort**4 - r_i_cort**4) "(m^4), inercia de la sección"

r_i_cort = r_o_cort - t "(m), radio interno"

sigma_perm_cort = F_R/A_cort + T_máx*r_o_cort/I_cort "Esfuerzo cortante máximo"

F.S._cort = sigma_y/sigma_perm_cort "Factor de seguridad"

F.S._cort = 1 "Condición crítica"

Arrojando los siguientes resultados:

$$A_{\text{cort}} = 0,00002286 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F.S._{\text{flex}} = 1$$

$$I_{\text{flex}} = 5,687\text{E-}11 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$r_{i,\text{flex}} = 0,001462 \text{ [m]}$$

$$\sigma_{\text{perm,cort}} = 2,500\text{E+}08 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$t = 0,0015 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{flex}} = 0,00002085 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_R = 55,07 \text{ [N]}$$

$$M_{\text{m}^{\text{a}}\text{x}} = 4,8 \text{ [N*m]}$$

$$r_{o,\text{cort}} = 0,003175 \text{ [m]}$$

$$\sigma_{\text{perm,flex}} = 2,500\text{E+}08 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$T_{\text{m}^{\text{a}}\text{x}} = 5,744 \text{ [N*m]}$$

$$F.S._{\text{cort}} = 1$$

$$I_{\text{cort}} = 7,367\text{E-}11 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$r_{i,\text{cort}} = 0,001675 \text{ [m]}$$

$$r_{o,\text{flex}} = 0,002962 \text{ [m]}$$

$$\sigma_y = 2,500\text{E+}08 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

El mínimo diámetro debe ser de 6.35 mm. Se normaliza en 12 mm, de medidas:

$$r_{\text{int}} = 4.5 \text{ mm}; r_{\text{ext}} = 6 \text{ mm}.$$

Recalculando los factores de seguridad:

$$A_{\text{cort}} = 0,00004948 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F.S._{\text{flex}} = 6,04$$

$$I_{\text{flex}} = 6,958\text{E-}10 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$r_{i,\text{flex}} = 0,0045 \text{ [m]}$$

$$\sigma_{\text{perm,cort}} = 5,064\text{E+}07 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$t = 0,0015 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{flex}} = 0,00004948 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_R = 55,07 \text{ [N]}$$

$$M_{\text{m}^{\text{a}}\text{x}} = 4,8 \text{ [N*m]}$$

$$r_{o,\text{cort}} = 0,006 \text{ [m]}$$

$$\sigma_{\text{perm,flex}} = 4,139\text{E+}07 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$T_{\text{m}^{\text{a}}\text{x}} = 5,744 \text{ [N*m]}$$

$$F.S._{\text{cort}} = 4,936$$

$$I_{\text{cort}} = 6,958\text{E-}10 \text{ [m}^4\text{]}$$

$$r_{i,\text{cort}} = 0,0045 \text{ [m]}$$

$$r_{o,\text{flex}} = 0,006 \text{ [m]}$$

$$\sigma_y = 2,500\text{E+}08 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Donde se evidencia que ambos son mayores que 1.

ANEXO M. Rodamiento del disco de inercia.

SKF

Generado desde {sitio} el {fecha}



D/W R6-5-2ZS Rodamientos rígidos de bolas

Rodamientos rígidos de bolas

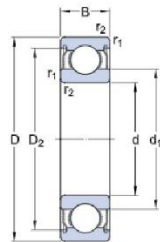
Datos de los rodamientos

Tolerancias,
Normal (métrica), P6, P5, Normal (en pulgadas),
Juego radial interno,
Pares de rodamientos apareados,
Acero inoxidable $d < 10$ mm, Otros rodamientos

Interfases del rodamiento

Tolerancias de los asientos para condiciones estándares,
Tolerancias y ajustes resultantes

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	12.7 mm
D	22.225 mm
B	7.142 mm
d ₁	≈ 14.8 mm
d ₂	≈ 14.8 mm
D ₂	≈ 19.3 mm
r _{1,2}	min. 0.4 mm

Del anexo M se extrae el dato de la fuerza a la que estará sometido el eje y, por tanto, el rodamiento ($C \approx 110 \text{ N} \equiv 0.110 \text{ kN}$). Con el requisito de que el diámetro interno sea igual al del eje (12 mm), se selecciona el siguiente rodamiento:

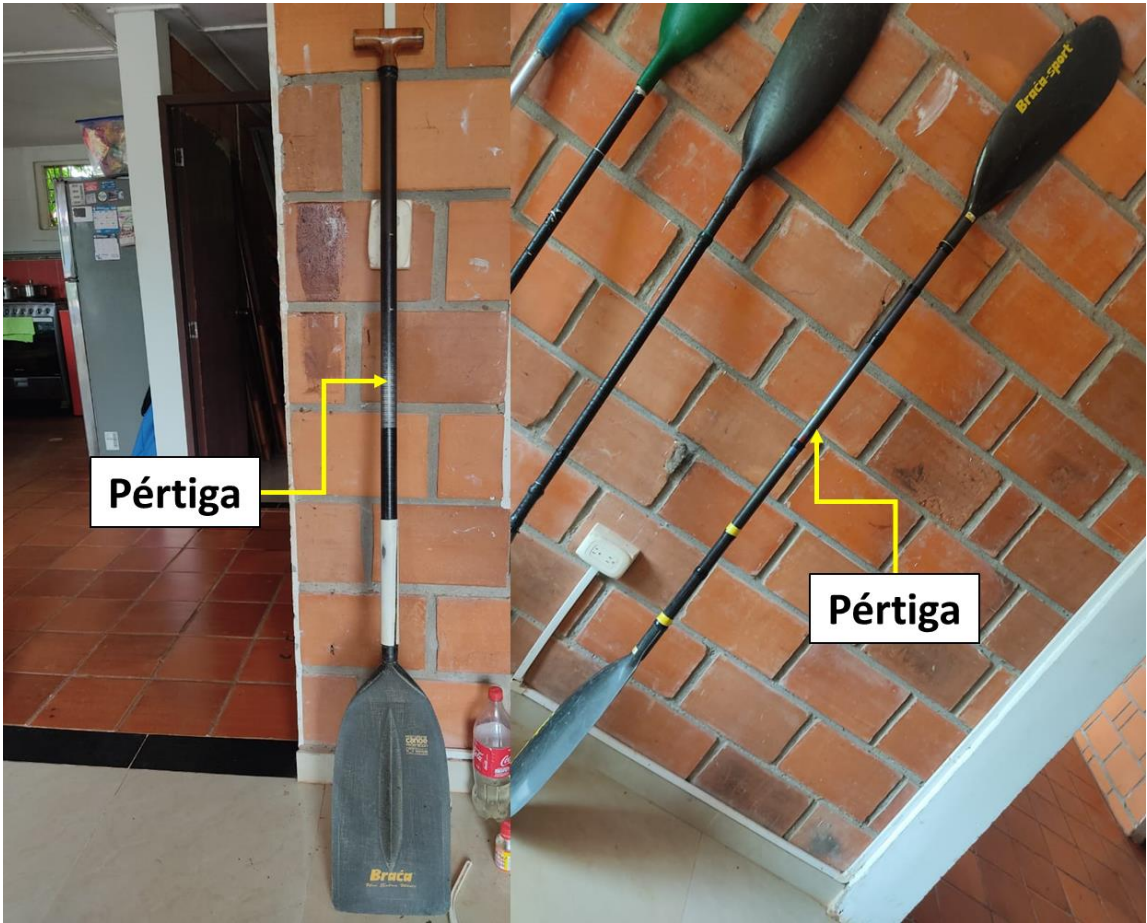
DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	1.11 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	0.53 kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.022 kN
Velocidad de referencia		70 000 r/min
Velocidad límite		36 000 r/min
Factor de cálculo	k_r	0.015
Factor de cálculo	f_0	7.9

MASA

Rodamiento de masa		0.01 kg
--------------------	--	---------

ANEXO N. Fotografía de las pértigas de kayak y canoa suministradas por la LSC.



ANEXO O. Ficha técnica de la cuerda de Nylon.


Inicio Nosotros **Catálogo** Categorías ▾ Marcas ▾ Líneas de Negocio

7

Share

1

Tweet

1

Pin

Nuestro Empaque Q



Carreta Grande (11)

DIAMETRO
29.0 cm

ALTO
32.5 cm



Cuerda Trenzado Gamma Nylon

La Cuerda Trenzada Gamma está fabricada en Nylon que es la fibra ideal por naturaleza para manufacturar cuerdas de gran rendimiento. Gracias a su elasticidad, puede absorber impactos que romperían cuerdas en otras fibras.

Tiene gran resistencia al roce lo que garantiza una larga duración.

Ideal en talabartería y montañismo.

Referencia	Calibre mm	Resistencia (kg-f)	Cant./Rollo (mts) N11
130CCC06N	6	625	NA
130CCC08N	8	850	NA
130CCC10N	10	1200	200
130CCC13N	13	1750	150

Marca:



¿Qué buscas?

Categorías de producto

- Abrasivos
- Adhesivos
- Agro
- Cerrajería
- Construcción
- Eléctricos
- Herramientas
- Hogar
- Iluminación
- Pinturas
- Plomería
- PVC

ANEXO P. Cotizaciones de los diferentes elementos del ergómetro.

METALCA

DISEÑO - INGENIERIA - MANTENIMIENTO

Bucaramanga, Abril 19 de 2021

Señores:
LIGA SANTANDEREANA DE CANOTAJE
Ciudad

Apreciados señores:

Tenemos el agrado de cotizarles en las siguientes condiciones:

<i>Cantidad</i>	<i>Detalle</i>	<i>Valor Unitario</i>	<i>Valor Total</i>
1	CONSTRUCCION DE ERGONOMETRO PARA KAYAK Y CANOA:		
	MATERIALES:	\$ 1.200.000=	\$ 1.200.000=
	MANO DE OBRA:	\$ 1.650.000=	\$ 1.650.000=
	PINTURA:	\$ 150.000=	\$ 150.000=

NOTA: Cotización valida por 30 días.

SUBTOTAL	\$ 3.000.000=
I.V.A.	\$ 570.000=
TOTAL	\$ 3.570.000=

Atentamente

PABLO A. SUAREZ
METALCA

*Carrera 14 No. 22-52 Bucaramanga
Telefax. 6713691*

- Cotización de la construcción del bastidor, base, disco de inercia, mecanismo de retorno de cuerda y de fricción, junto con accesorios.
- Cotización del rodamiento de 12 mm.

- Cotización del cromado del disco de inercia.

**Niquelados y Cromados
MORENO**
Niquelados y Cromados
Brillada de Aluminio
Galvanizados y Bronce
EDUARDO QUINTERO
CALLE 21 No. 13-13 TEL: 671 54 13
CEL: 311-490 77 10
BUCARAMANGA - COLOMBIA

Cant.	Detalle	Valor
1	DISCOS para Niquelacion bordo	7.000
	Exclusion volca	
	IMEZ	
Total		

COTIZACION 16149011

- Cotización del rodamiento de trinquete de 15 mm.

IMONORTE LTDA.
DISTRIBUIDOR DE RODAMIENTOS
JHON ALEXANDER JERÉZ
Cel.: 316 206 9031
Asesor Comercial
Carrera 14 No. 22 - 67
Tel.: 57-7- 6422525 / 6710541
Bucaramanga - Colombia
E-mail: gerencia@imonorte.com
www.imonorte.com

FAG TIMKEN FBJ NSK
Where You Turn
- TRINQUETE ISM → 65000 II
12x28x 12mm → 3500 II

**RODAMIENTOS · BALINERAS · RETENEDORES
CHUMACERAS · CORREAS · CADENAS**

- Cotización de la banda tejida de fricción



DIRECCIÓN: Cra 51 # 41-224 MEDELLÍN-COLOMBIA.
TELÉFONO: (574) 261 55 55
E-MAIL: ventas.medellin@interempaques.com
WWW.INTEREMPAQUES.COM

COTIZACIÓN N°: AP383-2020

CLIENTE: Freddy Gomez
SR(A):

FECHA 15/04/2021
ASESOR: ANDRES PATIÑO


ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT	SUB-TOTAL
1	1	banda tejida 1" x 3/16	\$ 100.000	\$ 100.000
OBSERVACIONES: valor x metro			SUBTOTAL	\$ 100.000
			IVA 19%	\$ 19.000
			TOTAL	\$ 119.000


TIEMPO DE ENTREGA: 2-3 DIAS HABILES
TIEMPO DE VALIDEZ DE LA OFERTA: 10 DÍAS - CONTADO

Cta Corriente BANCOLOMBIA Internacional de Empaques: MEDELLÍN N° 01494077008

MEDELLÍN: Cra 51 # 41-224 TEL: (574) 261 55 55 - EMAIL ventas.medellin@interempaques.com


- Cotización de la cuerda de nylon de 6 mm de diámetro por 15 m.






Fixser
Soga Nylon Trenzada 6mm x 15m
 Código 215598
 ★★★★★ 0.0 (0)


\$26.900 UND
 METRO \$1.793


 **Satisfacción Garantizada** [ver más](#)

Puedes devolver este producto en un plazo máximo de 30 días, éste debe estar en perfecto estado: sin uso, tener todos sus accesorios, manuales y embalaje original. Si tienes dudas, comunícate a nuestra línea de atención al cliente desde Bogotá: 3077115 o a la línea Nacional: 320 88 999 33.


Opciones de entrega para Bucaramanga

 **Disponible**
 Despacho a domicilio [ver fechas](#)


 **Disponible**
 Retiro en tienda [ver tiendas](#)


 **Disponible**
 Stock en tienda [más tiendas](#)

Productos Recomendados





FIXSER
Mosquetón 8X80mm

\$6.900 und 



FIXSER
Cuerda blanca polipropileno número 2 x 30 metros

\$7.500 und 



FIXSER
Cuerda blanca polipropileno número 4x20

[Ver más complementos](#)

Ficha técnica ^

Tipo	soga
Características	Trenzado sin Alma (Hollow Braid): Es una cuerda trenzada sin alma interior con características muy parecidas a la anterior pero con la mayor flexibilidad que se puede conseguir en el mercado. No rota con carga pero se deforma. Su costo es el mas bajo frente a sus similares trenzadas
Resistencia en Kgs	563
Observaciones	La foto de este producto ha sido ambientada, por lo cual no incluye ningún adorno, ni accesorios, ni piezas adicionales ni ningún otro elemento que lo acompañan.
Material	Poliamida
Longitud (Mts)	15
Calibre (mm)	6
Color	Crudo

Reseñas v

ANEXO Q. PLANOS EN DETALLE DEL MODELO CAD DEL ERGÓMETRO.