

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente
Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Biomecánica de natación



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

**4F04 - PAP PROGRAMA PARA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y
LOGISTICA EN LA INDUSTRIA REGIONAL**

Biomecánica en la natación

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Lic. en ingeniería mecánica Sofía Sánchez Bocanegra

Lic. en ingeniería mecánica Elías Salvador López Islas

Profesor PAP: Dra. Yolotxochitl Ramírez García, Dra. Ramona Beatriz Alemón Galindo y
Dra. Mariana del Rocío Ruiz Briseño

Tlaquepaque, Jalisco, 29 de junio de 2022

ÍNDICE

PRESENTACIÓN INSTITUCIONAL DE LOS PROYECTOS DE APLICACIÓN PROFESIONAL	3
RESUMEN.....	3
1. CICLO PARTICIPATIVO DEL PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL.....	4
1.1 ENTENDIMIENTO DEL ÁMBITO Y DEL CONTEXTO	4
1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN	5
1.3 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	5
1.4 PLANEACIÓN DE ALTERNATIVAS	5
<i>Participantes.....</i>	<i>6</i>
<i>Materiales.....</i>	<i>6</i>
<i>Equipos</i>	<i>6</i>
<i>Softwares.....</i>	<i>7</i>
<i>Análisis estadístico.....</i>	<i>7</i>
<i>Diseño de estudio.....</i>	<i>7</i>
1.5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE MEJORA.....	12
1.5.1 Pruebas de flexibilidad.....	12
1.5.2 Pruebas de rendimiento.....	17
1.5.3 Pruebas biomecánicas	20
1.6 VALORACIÓN DE PRODUCTOS, RESULTADOS E IMPACTOS	36
1.7 BIBLIOGRAFÍA	37
1.8 ANEXOS GENERALES	38
<i>Atleta 1</i>	<i>38</i>
<i>Atleta 2</i>	<i>39</i>
<i>Atleta 3</i>	<i>40</i>
<i>Atleta 4</i>	<i>41</i>
2. PRODUCTOS	42
2.1 FICHA DESCRIPTIVA	42
2.2 REPORTE	42
3. REFLEXIÓN CRÍTICA Y ÉTICA DE LA EXPERIENCIA	42
3.1 SENSIBILIDAD ANTE LAS REALIDADES.....	42
3.2 APRENDIZAJES LOGRADOS	43
3.3 INVENTARIO DE COMPETENCIAS INICIAL Y FINAL	44
3.4 DIMENSIÓN PERSONA.....	47

Presentación institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (coparticipación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

- El primero refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.
- El segundo presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.
- El tercero es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

En el último siglo se ha notado de manera significativa el progreso de la técnica de nado en los atletas y esto se debe a estudios científicos que han aportado países como Holanda, Alemania, España y E.U.A, los cuales brindan a los nadadores estudios biomecánicos para mejorar su técnica. Mientras tanto en México, según nuestro conocimiento se proporciona poco apoyo para los atletas que quieren mejorar su rendimiento para llegar a competir en eventos internacionales como las olimpiadas.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar un proyecto que apoye a la mejora del rendimiento de estos atletas. “Biomecánica en la Natación” se encarga de monitorear y analizar principalmente los movimientos y procesos que hace el cuerpo humano para lograr desplazarse en medio acuático.

Consiste en un estudio que analiza y compara en el tiempo la técnica de nado mediante sensores de movimiento, los cuales arrojan simulaciones 3D en forma de avatares y datos de posición

y movimiento de diferentes regiones de interés (por sus siglas en inglés ROI, *Regions of Interest*) en el cuerpo humano.

Además, se complementa el análisis de movimiento con el software KINOVEA™ para la medición de datos biométricos de los participantes y el análisis e interpretación de vídeos tomados durante las sesiones de evaluación.

También se realizarán tomas de frecuencia cardiaca la cual medirá si existe un aumento o descenso del ritmo. Otra prueba para realizar será la prueba de lactato, la cual se utiliza para determinar la capacidad anaeróbica de un atleta.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

La finalidad del PAP es poder involucrarnos en una dinámica de trabajo social responsable, donde nosotros como estudiantes nos desenvolvamos en un ambiente laboral para poder mostrar lo adquirido dentro de la universidad.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

En México, el aumento de tecnología para atletas de natación es indispensable para mejorar el rendimiento de estos. Desde el siglo pasado se ha desarrollado en diferentes países como España, Holanda, Alemania, China y E.U.A estudios biomecánicos de natación y desarrollos tecnológicos, como el traje de baño Speedo Lacer LZR Racer Swimsuit que posiciona los músculos y genera menor resistencia contra el agua, también softwares y dispositivos de posicionamiento y registro de datos en tiempo real elaborado en China "Nagi Smartpool".

De forma notable, se puede ver un incremento de récords mundiales en natación en comparación con otros deportes gracias a la evolución de las técnicas de nado. Según el GIBD (Grupo de Investigación en Biomecánica aplicada al Deporte) de la Universidad de Valencia el primer registro que se tiene del primer estudio científico en el ámbito de la natación fue por un alemán Du Bois-Reymond en 1905, donde midió la resistencia hidrodinámica pasiva de un nadador arrastrado por una barca y utilizó un dinamómetro donde la fuerza de la resistencia la medía un muelle previamente calibrado. Pero fue hasta 1920 que se demostró por Julius Amar que la resistencia hidrodinámica estaba relacionada con el cuadro de velocidad.

La situación de la natación en México está desarrollada en una menor medida, la mejor dorsista de nado mexicano fue hace 20 años. Esto demuestra la poca evolución que se ha tenido y la falta de compromiso de parte de ciertas instituciones por el crecimiento de esta misma. La implementación de tecnología se enfoca más a los deportes de moda y no a todos los deportes por igual; por lo que la decadencia de la natación es un problema para los jóvenes atletas de esta disciplina.

1.2 Caracterización de la organización

La empresa en donde se desarrolla este proyecto es un estadio náutico, cuyo nombre es Carril4tro. El entrenador tiene un grupo de 40 atletas de alto rendimiento. Entrenan 6 días a la semana. Su entrenamiento consiste en una hora de entrenamiento muscular en piso y dos horas nadando solamente de la supervisión de su entrenador fuera del agua, no se complementa con ninguna otra terapia o análisis.

El equipo de este proyecto está conformado por la Dra. Yolotxochitl Ramírez García, la Dra. Ramona Beatriz Alemón Galindo, y la Dra. Mariana del Rocío Ruiz Briseño, maestras del ITESO; y los alumnos de Ingeniería Mecánica Sofía Sánchez Bocanegra encargada de interpretación de los sensores y datos biométricos, estudio del estado del arte y elaboración de los documentos necesarios, y Elías Salvador López Islas desarrollador de la integración y la investigación de sensores, así como encargado de monitorear las pruebas en los atletas, además manejo del software KINOVEA™.

1.3 Identificación de la problemática

En México, la poca evolución de la técnica de nado ha sido bastante notable en los últimos 50 años, según el comité olímpico internacional indican que, en los juegos olímpicos de 1968 fue el mejor momento de la historia para la natación mexicana, indican que hasta la fecha del 2020 México no se ha vuelto a subir al podio de los Juegos Olímpicos de este deporte (Internacional, 2020).

Analizando esta información y observando como otros países han obtenido en el transcurso de los años el podio dentro de los juegos olímpicos, se puede inferir que es el resultado de la evolución de su técnica. Estos países han implementado desde hace varios años la biomecánica de natación, siendo alguno de ellos los pioneros de este estudio (Belloch, 2013).

El tiempo de entrenamiento será particularmente eficiente cuando se dedique a mejorar aquellos factores de desempeño que son eslabones débiles en la cadena de variables que interfieren. Si ni siquiera se identifican de una manera fidedigna cuáles son estos factores en cada atleta, el sistema de entrenamiento se vuelve insuficiente. Esta es la primera limitante de los factores determinantes, ya que es la primera en reducir y, por lo tanto, determinar el rendimiento.

Consecuentemente, a falta de estos análisis, atletas jóvenes en su fase preolímpica se enfrentan con la gran problemática de falta de apoyo en la mejora de su rendimiento y de su técnica, por lo que México se queda atrás. Desafortunadamente atletas con gran potencial no logran estar al mismo nivel que otros competidores de otros países debido a la falta de tecnología y apoyo.

1.4 Planeación de alternativas

Para obtener el máximo rendimiento en el deporte se requiere del pleno uso de las fuerzas que un atleta posee. Factores como la fuerza, técnica y la resistencia son indispensables para mejorar. El conocimiento teórico representa otro gran porcentaje para el éxito; el saber cómo se realizan las posiciones y el poder conocer cuál es el ángulo que darán mayor eficiencia son datos teóricos que se deben de conocer y por ende ambas situaciones darán a un atleta completo.

La natación tiene dos principios físicos y kinesiológicos para nadar mejor (Marc Bachlin, 2012). El primero es por la reducción de la resistencia en el agua por medio del ángulo entre el cuerpo del

nadador y la superficie del agua, y la rotación del cuerpo del nadador a lo largo de su propio eje longitudinal; el segundo principio es con un aumento de la fuerza propulsora en brazadas, traducido en un aumento de la velocidad.

A continuación, se describe la metodología que se siguió en el presente estudio, el cual tiene de objetivo desarrollar un sistema sencillo de medición cuantitativa en el estilo de crol el movimiento de los atletas de nado, mediante sensores, grabaciones y pruebas sanguíneas, con el fin de aportar información de su rendimiento y técnica en el tiempo de nado y flexibilidad.

El rendimiento se va a cuantificar con dos parámetros, los cuales son la velocidad y el nivel sanguíneo de lactato.

Participantes

Cuatro nadadores de alto rendimiento, tres hombres y una mujer, (con una edad de 18.5 ± 1.12 años, que empezaron a nadar desde los 4.75 ± 2.38 años, y que comenzaron a ser atletas de alto rendimiento desde los 10.50 ± 2.87 años, con una estatura de 1.69 ± 0.05 metros y un peso de 61.9 ± 6.62 kilogramos) con experiencia en competencias de natación estilo crol fueron voluntariados en este estudio. Todos los participantes y sus padres fueron informados de los procedimientos, riesgos y beneficios y entregaron un consentimiento firmado por su tutor o ellos mismos en caso de ser mayores de edad.

Materiales

- Tubo recto
- Cronómetro
- Cinta antropométrica
- Pulsómetro
- Báscula clínica
- Lancetas
- Lactómetro
- Tiras reactivas de lactato
- Torundas de algodón
- Alcohol etílico desnaturalizado
- Guantes

Equipos

- **Wear Notches**

Se cuenta con soporte tecnológico y un año de garantía. Almacena los datos desde la aplicación "Notch Pionner" para iOS y Android, licencia de desarrollo para Notch SDK.

Especificaciones de los sensores:

- Giroscopio - $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000, \pm 4000$ dps
- Acelerómetro - $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16, \pm 32$ g
- Magnómetro - $\pm 4/ \pm 8/ \pm 12/ \pm 16$ gauss
- Frecuencia de muestreo - 5Hz, 10Hz, 20Hz, 40Hz, 50Hz, 100Hz, a 125Hz, 200Hz, 333Hz, 500Hz

Notches permite grabar datos en la memoria Flash integrada. Los Notches usan BLE (Bluetooth Low-Energy) para comunicarse con el celular. Los Notches también forman una propiedad, sincronización inalámbrica sensor-network y una interna comunicación. Son

resistentes al agua (IP67) hasta el punto de ser a prueba de salpicaduras y sudor. Sin embargo, sumergir los Notches por debajo de 1 metro provocará daños permanentes.

- **Go pro-Max**

La cámara GoPro-Max es una cámara sumergible hasta 5 metros de profundidad en el agua que permite grabar en 360° a una resolución de 4k resistente al uso rudo.

Admite vídeo 4992 x 2496 360°. Ancho focal de 8.9 mm de ancho. Estabilización digital HyperSmooth. Resolución de foto hasta 5760 x 2880. PowerPano: 6,2 MP. Secuencia: vídeo Max TimeWarp / vídeo secuencial / foto secuencial. Memoria Sandisk 64 GB y lector de tarjetas Ritz Gear.

Softwares

- **KINOVEA™**

Software de licencia libre que sirve para hacer mediciones de varios tipos, ya sea alturas, distancias, ángulos, velocidad y movimiento. En este programa se obtienen los ángulos a partir de las fotos de las pruebas de flexibilidad y de los videos de las posiciones bajo el agua.

- **Minitab**

Programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. En este software se procesan todos los datos obtenidos para obtener las estadísticas descriptivas y correlación de hipótesis.

- **MATLAB**

Sistema de cómputo numérico con un lenguaje de programación propio. Aquí se procesan los datos obtenidos de los Wear Notches.

Análisis estadístico

El procesamiento estadístico de datos obtenidos en las pruebas de flexibilidad se realizó calculando los estadísticos descriptivos y gráficas de caja. Debido a que este tipo de dato no varía de toma en toma, sino que varía de persona en persona, se categoriza como un CTQ (por sus siglas en inglés, *Critical to Quality*, parámetros clave en los requerimientos de calidad), o Variable Y, numérica; al igual que una variable X siendo categórica.

También se proponen correlaciones de hipótesis entre la velocidad y las pruebas de flexibilidad de los atletas, por lo que siendo ambos datos números se utilizó una gráfica de Regresión con un nivel de confianza del 95.0 % con un diagrama de Pareto de los efectos para comparar la magnitud relativa y la significancia estadística de ellos.

Diseño de estudio

1. La metodología propuesta para este estudio se divide en dos sesiones. En ambas sesiones se replican todas las pruebas a cada uno de los atletas a excepción de la toma de las mediciones antropométricas, la cual sólo se realiza en la primera sesión. Las mediciones realizadas son las siguientes:

- **Peso (kilogramos)**

- **Perímetros (metros)**

- Cabeza

- Brazo

- Brazo

- Antebrazo

- Cuello

- relajado

- contraído

- Muñeca

- Tórax
- Glúteos
- Muslo
- Pantorrilla
- Cintura
- Muslo
- Muslo medio
- Tobillo
- **Longitudes (metros)**
 - Estatura
 - Iliocrestídeo-calcáneo
 - Acromial-radial
 - Biacromial
 - Radial-dactiloidea

2. Una vez con esos datos, se procede a las pruebas de flexibilidad, las cuales se deben realizar en todas las sesiones. A cada uno de los atletas se les pide realizar cuatro ejercicios diferentes: hiperflexión de hombros, extensión de hombros, plantar de tobillos y flexión de tronco. Con esto finaliza las pruebas de flexibilidad.
3. Se inician las pruebas de rendimiento registrando la frecuencia cardiaca con un pulsómetro y los niveles sanguíneos de lactato con un lactómetro antes de nadar.
4. En el nado, se realizan 25 metros mariposa, 25 metros de dorso, 25 metros de pecho y 25 metros de crol, dando un total de 100 metros. Estos mismos ejercicios se repiten una vez más para después hacer 200 metros de solamente estilo crol. En total 400 metros.
5. Después de nadar, se toma de nuevo la frecuencia cardiaca y el lactato máximo 30 segundos después de salir del agua. El atleta se queda sentado y seguido de 4 minutos se toma otra vez la frecuencia cardiaca.
6. En este punto ahora empiezan las pruebas biomecánicas. Se le colocan tres sensores a la altura de la muñeca, del antebrazo y del brazo derecho al atleta. Asimismo, se coloca una cámara sumergida en el agua para capturar la vuelta de campana en un extremo del carril. El nadador hace 100 metros de estilo crol en el que los sensores y cámara capturan su movimiento, y se mide el tiempo. Aquí se terminan las pruebas de rendimiento y biomecánicas.
7. Después de cada sesión se entregan los resultados al entrenador para poder correlacionar con el desarrollo aeróbico del atleta y corrección de su técnica.
8. Los resultados de la investigación se presentan en graficas comparativas de cada atleta, así como la interpretación de los datos obtenidos. Los reportes comparativos obtenidos mejoran la técnica de nado y aportan información tangible para evaluar los cambios en la técnica y en el entrenamiento del nadador que impactan en su desempeño y rendimiento durante el nado.

1.4.1 Pruebas de flexibilidad

El objetivo de esta es medir la amplitud de movimiento o el rango de elongación de los músculos de la parte posterior del muslo (isquiotibiales) y de la parte baja de la espalda. Las siguientes articulaciones son determinantes para tener un adecuado rango de movilidad y por lo tanto un buen rendimiento en natación según el Protocolo Para La Determinación De La Amplitud De Movimiento En Natación (Álvarez,2017).

Estas pruebas responden al segundo principio según Bachlin, pues el tipo de musculación excéntrica aumenta la longitud del músculo y la elasticidad, debido a la creación de nuevas sacrómeras en serie (García, 2022). Las pruebas que realizaremos son las siguientes:

- **Hiperflexión de hombros**

El deportista se sienta a horcajadas en el banco y sostiene un tubo recto por delante del cuerpo, a anchura de hombros (nos aseguramos personalmente o con asistente de este punto), extiende los codos por completo y trata de llevar los brazos hacia arriba y hacia

atrás en máxima flexión posible de hombros. Cuando llega a su punto máximo de ADM (amplitud de movimiento) sin rebotes se finaliza el ejercicio.

- **Extensión de hombros**

El deportista se posiciona boca abajo en el banco, con el cuerpo completamente extendido, la cabeza en la posición lo más alineada y cómoda posible y los brazos extendidos a lo largo del cuerpo, con las palmas de las manos hacia arriba a una anchura de hombros. En ese punto se le entrega el tubo y manteniendo los codos extendidos realizará un recorrido en forma de arco llevando los brazos hacia adelante hasta el punto de máxima ADM.

- **Flexión plantar de tobillo**

El deportista se sitúa sentado en el banco o suelo, sin calcetines, con las rodillas completamente extendidas y realiza la máxima flexión plantar posible de tobillos y dedos de los pies. Precaución con este ejercicio si no lo has hecho antes. Realizarse de manera progresiva y con un buen calentamiento, pues los calambres son bastante habituales.

- **Flexión de tronco**

El deportista se sitúa de pie en el banco con las rodillas extendidas y realiza una flexión máxima de tronco, llevando las manos lo más abajo posible y aproximar el tronco a las piernas. Importante mantener el bloqueo de rodillas en extensión durante todo el ejercicio.

La metodología utilizada para la medición es la siguiente:

1. Se coloca el banco delante de nuestro dispositivo de grabación, a una distancia que nos permita posteriormente tener al deportista de pie encima del banco dentro de nuestro ángulo de grabación
2. Se inicia la grabación de video con la cámara mientras se le pide al atleta las 4 pruebas.
3. Se exporta el video resultante al ordenador y captura en formato de imagen cada uno de los fotogramas que marquen el punto de mayor ángulo de movimiento.
4. Se abre cada una de las imágenes resultantes del punto anterior y se miden los ángulos que se necesiten para el análisis, utilizando las siguientes referencias.

Ángulo de flexibilidad	
Hiperflexión de hombros	Correcto > 40° Incorrecto < 24°
Extensión de hombros	Correcto > 108° Incorrecto < 90°
Flexión plantar de tobillo	Correcto < 5° Incorrecto > 20°
Flexión de tronco	Correcto < 36° Incorrecto > 54°

Tabla 1. Resumen resultados ángulos de movilidad, estudio CAR San Cugat y RFEN (Real Federación Española de Natación) 2019-2020.

1.4.2 Pruebas de rendimiento

En esta parte del estudio se evalúan aspectos biomecánicos, como parámetros cardiovasculares a través de la frecuencia cardíaca, y bioquímicos metabólicos a través del análisis de lactato.

El rango normal de los niveles sanguíneos de lactato es de 0.5 a 2.2 milimoles por litro (A.D.A.M., s.f.). El aumento de esta, entre otras razones, se da durante el ejercicio intenso

debido a una disminución en los niveles de oxígeno del cuerpo, el aumento en el lactato se correlaciona con los músculos trabajando sin oxígeno. Por lo tanto, cuando es producida indica que la energía aeróbica es limitada durante la actividad. (Barceló, 2003).

Se calcula el aumento de lactato por la diferencia del lactato basal y el pico que presentan 30 segundos después de salir del agua de realizar los 400 metros mixtos, como se describe en la metodología. Esto es debido a que en diversos estudios proponen medir el lactato 30 segundos después de nadar, durante la recuperación, como lo es el estudio de Campos et al. de 2017.

1.4.3 Pruebas biomecánicas

Ya existen estudios biomecánicos realizados en atletas de natación con los sensores Wear Notch, como el realizado por Hidayat et al. en 2019 en Indonesia, con el objetivo de capturar esos movimientos y evaluarlos desde las simulaciones creadas por los avatares del software. Tomaron datos de un mismo protocolo con nadadores profesionales y casuales para comparar los datos y ver las diferencias entre ellos.

También graficaron los ángulos del cuello, puesto que una estable y sincronizada rotación del cuello para respirar es necesario para evitar lesiones, fatiga y una disminución en el arrastre por el agua. Otras gráficas que obtuvieron son el movimiento del hombro, en sus fases de interna, externa, abducción, aducción, flexión y extensión. Por último, también obtuvieron una gráfica de los movimientos del codo cuando se encuentra en supinación y en flexión.

Para las pruebas propuestas en este estudio, se posiciona un sensor por cada tres puntos del brazo derecho para poder monitorear durante los 100 metros estilo crol la brazada de los nadadores. El primero se coloca arriba de la muñeca, el segundo en la mitad del antebrazo, y el tercero sobre el bícep. Estos puntos se muestran en la figura de la derecha, ya posicionados y calibrados en el atleta. Véase gráfico 1.



Gráfico 1. Posición de los sensores

La metodología utilizada para la medición es la siguiente:

1. Encender los sensores a utilizar y el bluetooth en el celular a utilizar.
2. Seleccionar la configuración deseada desde el celular mediante el software de los notches, en este caso es brazada derecha.
3. Calibrarlos si es necesario.
4. Posicionar los sensores según el diagrama que indica la aplicación. Seleccionar la frecuencia de mínimo 333 Hz.
5. Pedirle al atleta que se pare derecho, con brazos y piernas rectas a la altura de los hombros para calibrar los sensores.
6. Pedirle al atleta que se prepare arriba del banco, en posición de salida.
7. Empezar la captura de datos y darle salida con una cuenta regresiva de 3 segundos al nadador. En el transcurso de la captura de datos, seguir al atleta con una distancia aproximada de 5 metros con el celular, ya sea adentro o fuera del agua.
8. Finalizar el tiempo de la captura una vez que se obtengan los movimientos deseados.

9. En la aplicación de los notches, ir a biblioteca y seleccionar descargar. En este paso se requiere conexión estable de internet.

1.5 Desarrollo de la propuesta de mejora

1.5.1 Pruebas de flexibilidad

Estadística descriptiva

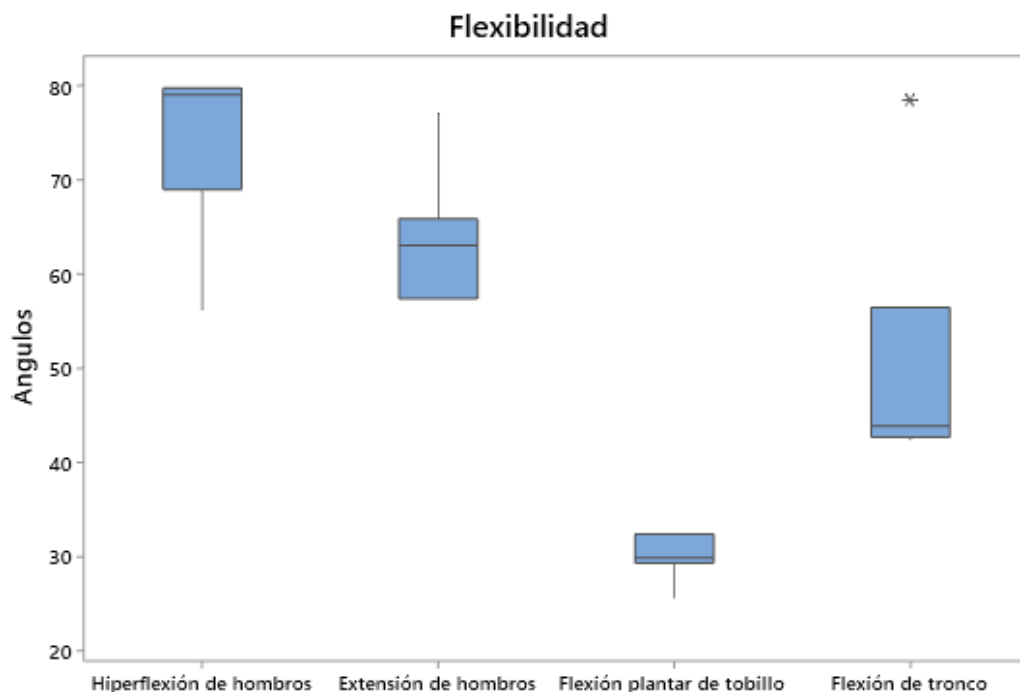
Estadística descriptiva del grupo en flexibilidad					
Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Hiperflexión de hombros	7	73.17	8.96	56.20	79.90
Extensión de hombros	7	64.20	6.69	57.30	77.10
Flexión plantar de tobillo	7	29.957	2.295	25.70	32.60
Flexión de tronco	7	52.01	13.27	42.40	78.60

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de pruebas de flexibilidad.

Se realizaron siete mediciones entre los cuatro atletas. La tabla 2 contiene dos mediciones de cada uno, excepto del atleta 1 quien tuvo únicamente una medición correspondiente al primer día.

Estos datos son para representar al grupo de los atletas valorados. Al analizar los intervalos de confianza y otras pruebas los resultados recopilados no son los requeridos para el objetivo del estudio, pues como son atletas de alto rendimiento de competencias individuales, se prefiere entregar resultados por separado.

Análisis



La gráfica 1 ayuda a describir la desviación y distribución de los cuadrantes de los nadadores en su flexibilidad, pero esto sólo nos indica si los integrantes tienen valores similares o no, no nos describe su rendimiento ni si están correctos o no según la técnica. Es por ello por lo que este resumen de gráfica de caja se descarta como una gráfica importante de reportar para el entrenador en estilo de nado crol individual.

Por el otro lado, las siguientes gráficas son mucho más ilustrativas y junto con el pie de gráfico son fácil de interpretar. Por ello se recomienda reportar al atleta en este formato individual de cada prueba de flexibilidad. En total hay 7 mediciones, dos mediciones por cada atleta, excepto el atleta 1 puesto que no se presentó en la segunda sesión.

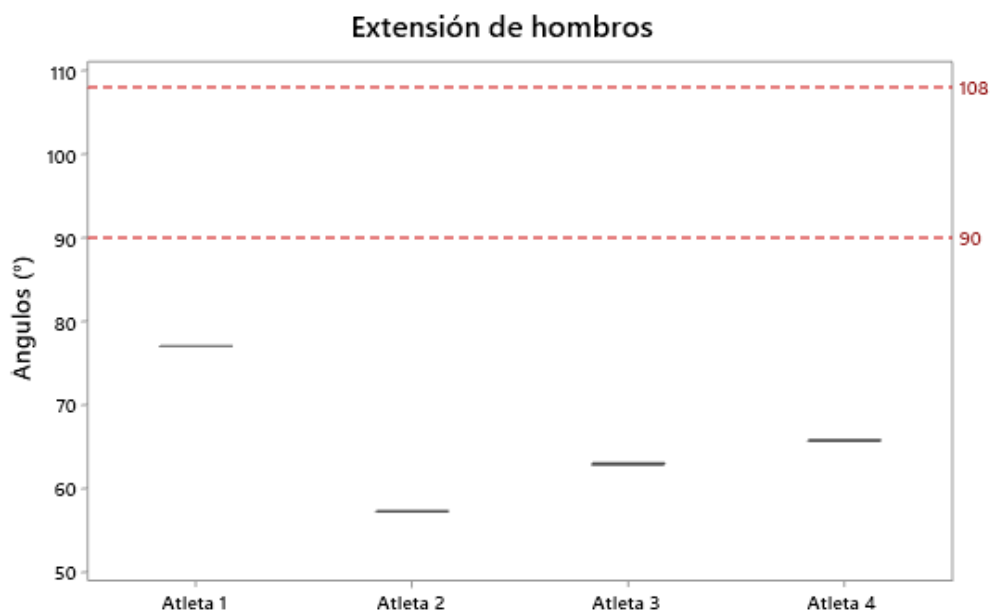
En las siguientes gráficas se pueden presentar líneas más gruesas que otras, estas representan datos de diferentes mediciones que presentaron los atletas, con el fin de que se visualice gráficamente su avance.



*Un óptimo ángulo es mayor a 40°.
Un ángulo incorrecto es menor a 24°.*

Gráfico 3. Hiperflexión de hombros de los atletas.

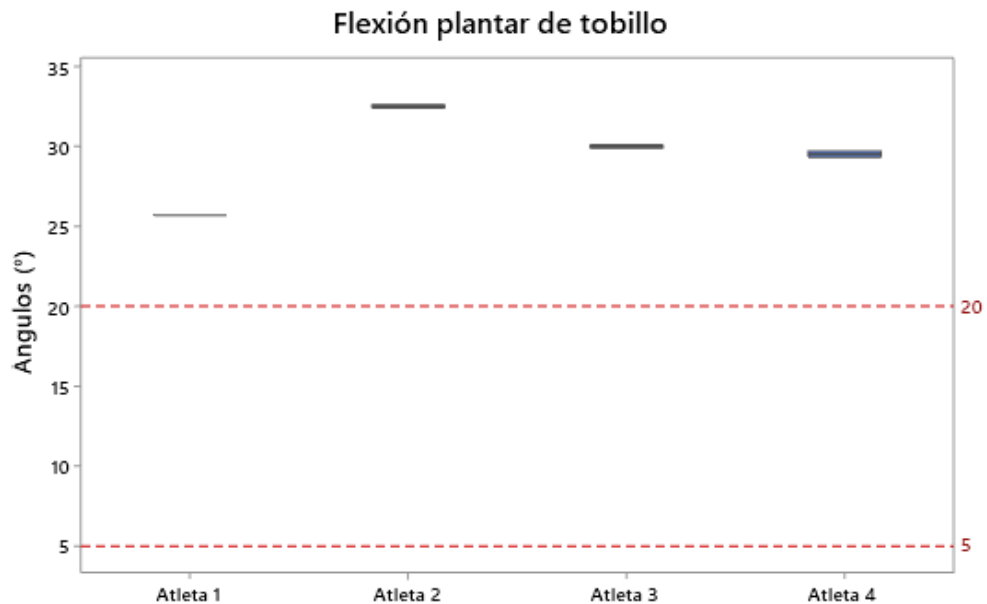
Todos los atletas presentan una flexibilidad adecuada con forme a la literatura en hiperflexión de hombros.



*Un óptimo ángulos es mayor a 108°.
Un ángulo incorrecto es menor a 90°.*

Gráfico 4. Hiperflexión de hombros de los atletas.

Los atletas presentan una flexibilidad con la cual nos indica una necesidad para realizar ejercicios, y de esta manera obtener una mejora.

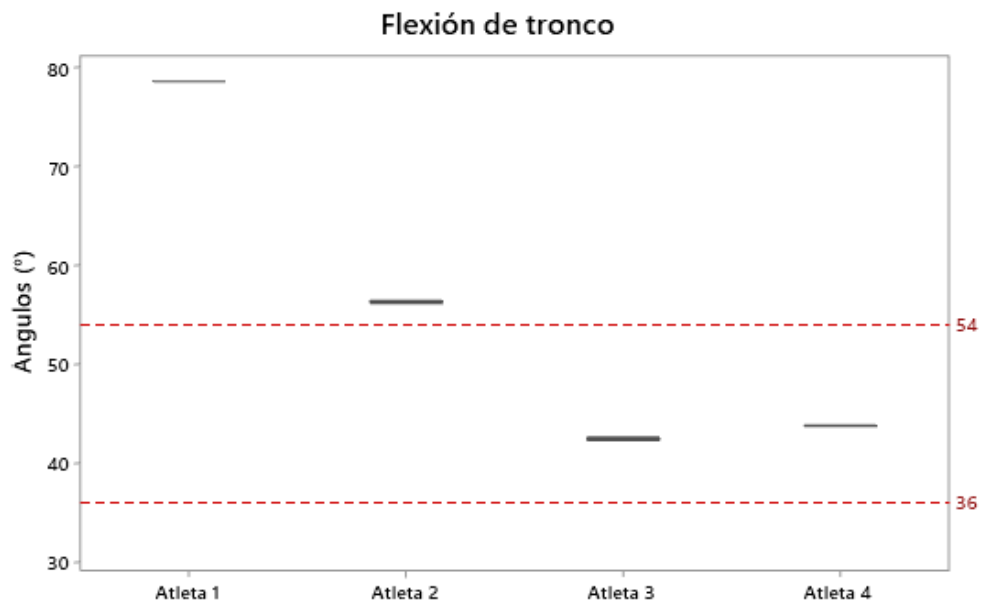


Un óptimo ángulo es menor a 5°.

Un ángulo incorrecto es mayor a 20°.

Gráfico 5. Flexión plantar de tobillo de los atletas.

Los atletas presentan una flexibilidad la cual nos indica una necesidad para realizar ejercicios, y de esta manera obtener una mejora. El atleta 4 fue el que presentó la mayor mejoría en la segunda medición.



Un óptimo ángulo es menor a 36°.

Un ángulo incorrecto es mayor a 56°.

Gráfico 6. Flexión de tronco de los atletas.

Dos de los cuatro atletas presentan una flexibilidad dentro de los parámetros referenciados en la tabla 1, la cual nos indica que se deben realizar ejercicios específicos, y de esta manera obtener una mejora.

Correlación de hipótesis

Nos es de interés saber si ciertos parámetros tales como las pruebas de flexibilidad influyen en el rendimiento final, el cual es mejorar los tiempos o estabilizar el lactato, y por lo tanto mejorar la velocidad de los atletas con un menor esfuerzo. En específico, el objetivo es saber cuáles son los parámetros más y menos influyentes en el estilo crol. Las hipótesis nulas y alternativa se repiten por cada una de las pruebas.

$$H_0 = \text{Correlación entre la Velocidad y las Pruebas de Flexibilidad es } 0$$

$$H_A = \text{Correlación entre la Velocidad y las Pruebas de Flexibilidad NO es } 0$$

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Pruebas de Flexibilidad
(la respuesta es Velocidad; $\alpha = 0.05$)

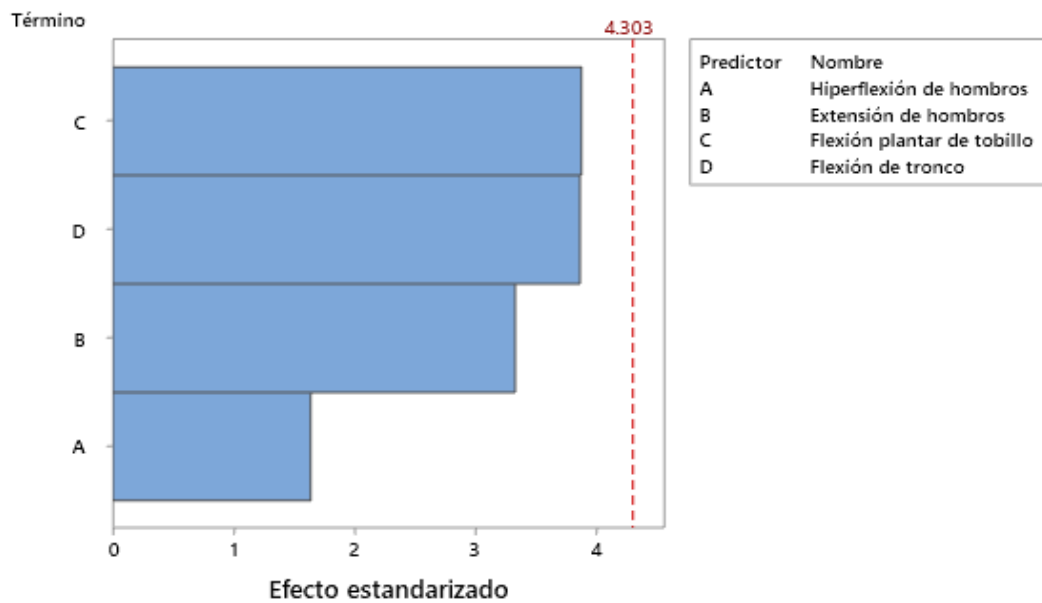


Gráfico 7. Diagrama de Pareto de efectos de la Velocidad con las cuatro pruebas de flexibilidad.

Coefficientes del análisis de regresión de Pruebas de Flexibilidad

Término	Coefficiente	Valor T	Valor p	FIV
Constante	30.72	3.55	3.55	-
Hiperflexión de hombros	-0.0254	-1.64	0.243	36.57
Extensión de hombros	-0.2036	-3.33	0.080	320.03
Flexión plantar de tobillo	-0.495	-3.88	0.061	162.56
Flexión de tronco	0.00938	3.87	0.061	1.96

Tabla 3. Coeficientes del análisis de regresión de pruebas de flexibilidad.

Resumen del modelo del análisis de regresión de Pruebas de Flexibilidad

S	R-cuad	R-cuad (ajustado)	R-cuad (pred)
---	--------	-------------------	---------------

0.0562660 93.17% 79.52% 0.00%

Tabla 4. Resumen del modelo del análisis de regresión de pruebas de flexibilidad.

Como se puede observar en el gráfico 7, al igual que en los valores de p en la tabla 3, ningún término es estadísticamente significativo, es decir, ningún parámetro puede ser concluyente según el nivel de confianza que se trabaja. También hay una severa multicolinealidad como se ve en la columna de FIV (Factor de Inflación de la Varianza). Es por lo que se realiza de nuevo el análisis, omitiendo los datos de hiperflexión de hombros y así reducir el modelo.

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de Pruebas de Flexibilidad
(la respuesta es Velocidad; $\alpha = 0.05$)

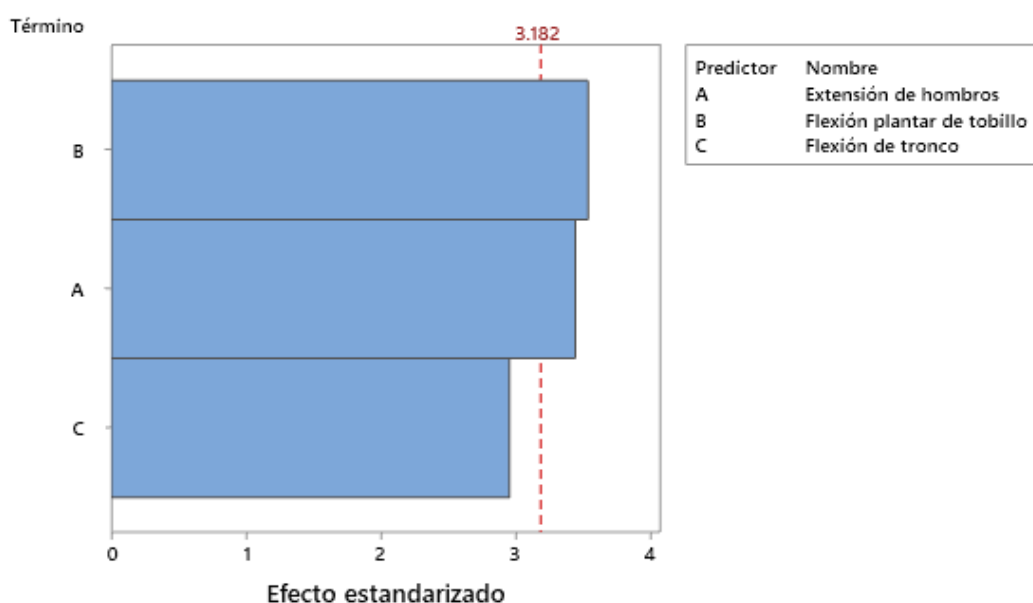


Gráfico 8. Diagrama de Pareto de efectos de la Velocidad con las cuatro pruebas de flexibilidad

Coefficientes del análisis de regresión de Pruebas de Flexibilidad

Término	Coefficiente	Valor T	Valor p	FIV
Constante	17.96	3.78	0.032	-
Extensión de hombros	-0.1132	-3.44	0.041	59.23
Flexión plantar de tobillo	-0.3236	-3.54	0.038	53.44
Flexión de tronco	0.00889	2.95	0.060	1.93

Tabla 5. Coeficientes del análisis de regresión de pruebas de flexibilidad.

Resumen del modelo del análisis de regresión de Pruebas de Flexibilidad

S	R-cuad	R-cuad (ajustado)	R-cuad (pred)
0.0703059	84.01%	68.02%	0.00%

Tabla 6. Resumen del modelo del análisis de regresión de pruebas de flexibilidad.

En este caso, a pesar de que la R-cuad ajustada es menor a comparación del anterior modelo, en este caso no se presenta una multicolinealidad tan severa y dos de los tres términos son estadísticamente significativos, como se puede observar en el gráfico 8, la flexión plantar de tobillo y extensión de hombros tienen variables concluyentes.

La flexión de tronco tiene una P mayor (0.060) a comparación de las otras pruebas de flexibilidad. Esto nos indica que la flexión de tronco en el estilo crol podría no estar influyendo en la velocidad del atleta, al igual que hiperflexión de hombros.

La flexión plantar de tobillo tiene una P menor (0.038) a comparación de las otras pruebas de flexibilidad, esto nos indica que con los datos obtenidos este es el parámetro más influyente en la velocidad.

1.5.2 Pruebas de rendimiento

Estadística descriptiva

La última medición se realizó el 8 de julio de 2022. A continuación, se presentan los datos acumulados transcurridos 22 días desde el inicio el 18 de junio de 2022.

Estadística descriptiva del grupo en rendimiento					
Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Velocidad	7	1.4771	0.1243	1.3000	1.6300
Tiempo	7	67.99	5.77	61.10	76.70
Lactato - antes	3	2.300	0.529	1.900	2.900
Lactato - después	3	7.767	1.457	6.600	9.400
Aumento de lactato	3	5.467	1.595	4.400	7.300
Frecuencia cardiaca - antes	7	88.14	9.92	74.00	102.00
Frecuencia cardiaca - después	7	114.43	8.96	103.00	128.00
Frecuencia cardiaca - recuperación	7	89.43	6.58	83.00	102.00

Tabla 7. Estadísticas descriptivas de rendimiento del grupo.

Estadística descriptiva individual en rendimiento						
Variable	Atleta	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Velocidad	1	1	1.6100	-	1.6100	1.6100
	2	2	1.4600	0.1273	1.3700	1.5500
	3	2	1.525	0.148	1.420	1.630

	4	2	1.3800	0.1131	1.3000	1.4600
Tiempo	1	1	62.200	-	62.200	62.200
	2	2	68.66	6.06	64.37	72.94
	3	2	65.67	6.47	61.10	70.25
	4	2	72.53	5.90	68.35	76.70
Lactato - antes	1	0	-	-	-	-
	2	1	2.1000	-	2.1000	2.1000
	3	1	1.9000	-	1.9000	1.9000
	4	1	2.9000	-	2.9000	2.9000
Lactato - después	1	0	-	-	-	-
	2	1	9.4000	-	9.4000	9.4000
	3	1	6.6000	-	6.6000	6.6000
	4	1	7.3000	-	7.3000	7.3000
Aumento de lactato	1	-	-	-	-	-
	2	1	7.3000	-	7.3000	7.3000
	3	1	4.7000	-	4.7000	4.7000
	4	1	4.4000	-	4.4000	4.4000
Frecuencia cardiaca - antes	1	1	83.000	-	83.000	83.000
	2	2	77.50	4.95	74.00	81.00
	3	2	89.00	1.41	88.00	90.00
	4	2	100.50	2.12	99.00	102.00
Frecuencia cardiaca - después	1	1	106.00	-	106.00	106.00
	2	2	115.50	0.707	115.00	116.00
	3	2	106.50	4.95	103.00	110.00
	4	2	125.50	3.54	123.00	128.00
Frecuencia cardiaca - recuperación	1	1	83.000	-	83.000	83.000
	2	2	88.00	4.24	85.00	91.00
	3	2	89.00	5.66	85.00	93.00
	4	2	94.50	10.61	87.00	102.00

Tabla 8. Estadísticas descriptivas de rendimiento individual.

Calcular el promedio de todos estos parámetros por atleta no se considera relevante, pues la condición del atleta cambia con el tiempo. Algo más útil sería llevar un registro durante el tiempo. Por ello se adjunta en anexos los expedientes de cada uno de los atletas.

Análisis

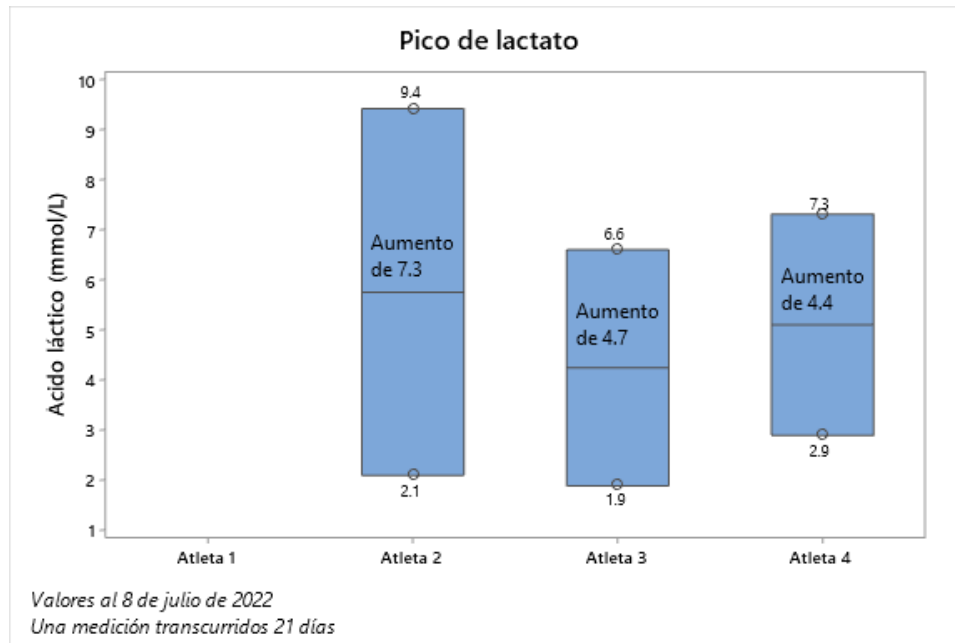


Gráfico 9. Estadísticas descriptivas de rendimiento del grupo.

El atleta 1 no participó en la segunda sesión en donde se realizaron las pruebas de lactato, por lo que no se tienen datos sobre ese participante por el momento. En cuanto al atleta 2, presentó el mayor aumento de lactato, a comparación del 3 y 4, esto se traduce en que al atleta 2 le fatigó más realizar la prueba de 100 metros crol y tiene una menor capacidad aeróbica. Por ello, se recomiendan más ejercicios aeróbicos al atleta 2.

Por el momento, solo se obtuvieron los aumentos en esta primera toma de datos. Más adelante se podrán analizar y correlacionar entre diferentes días.

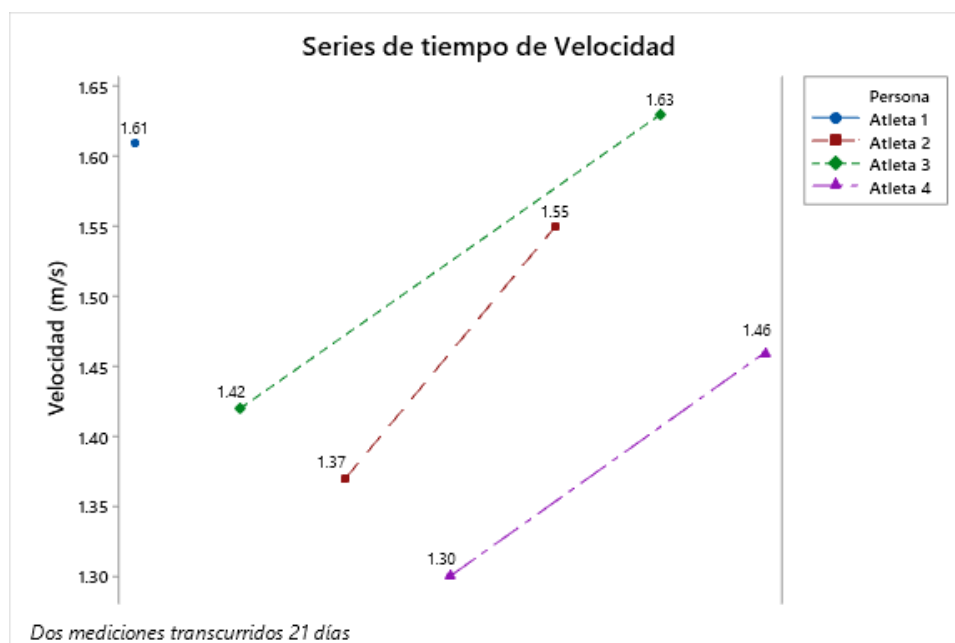


Gráfico 10. Estadísticas descriptivas de rendimiento del grupo.

En el gráfico 10 se observa que en todos los atletas quienes tuvieron dos mediciones tuvieron un aumento en su velocidad. En el caso del atleta 1 sólo se realizó la primera medición.

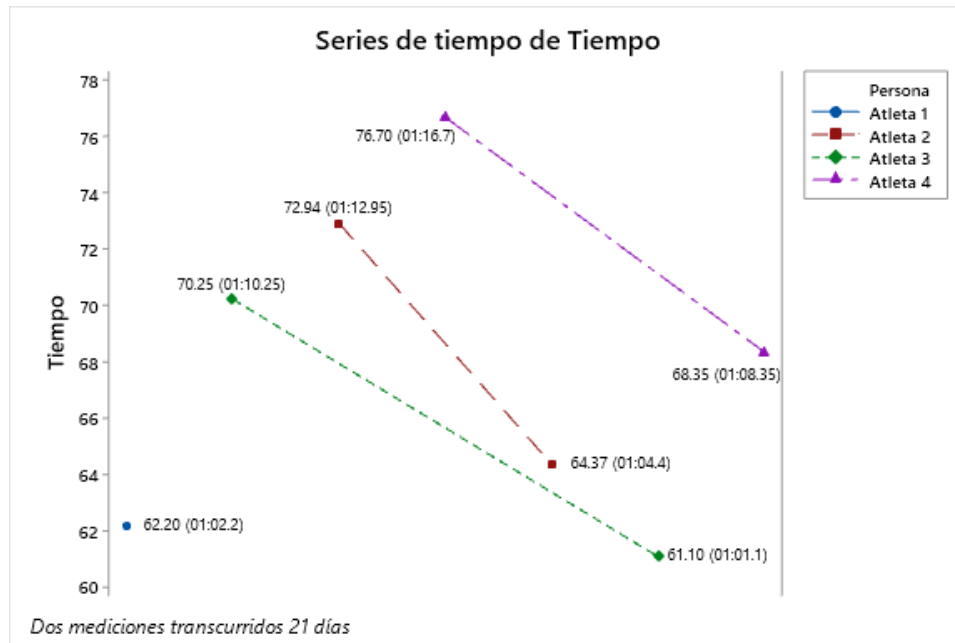


Gráfico 11. Estadísticas descriptivas de rendimiento del grupo.

En el gráfico 11 se realizó lo mismo que en la tabla anterior, más en este caso se muestra su mejora en segundos y en formato mm:ss.0. Nuevamente, el atleta 1 no se presentó en la segunda medición. Este formato es el más utilizado en el ámbito deportivo y por los atletas, por lo que esta es una que se reportará a los interesados en el estudio.

1.5.3 Pruebas biomecánicas

Utilizando los sensores para poder monitorear el recorrido completo que da el brazo derecho durante el recorrido de nado, se busca obtener información para de esta manera poder realizar el recorrido más eficiente, el cual sería con un ángulo de brazada de 0° y un ángulo de ataque de 90° . La mano, además del flexo extensión de la muñeca, también tiene otros ejes de movimiento de supinación y pronación que sumados a los movimientos propios de cada dedo hacen que sea un elemento con multitud de posibles movimientos. Es por eso por lo que debemos fijarla bien a la hora de nadar. En la brazada, la mano genera un esfuerzo de tracción en una primera fase, y de empuje en una segunda fase hasta la salida del agua. En todo el recorrido la mano debe ir con un ángulo de brazada de 0° y un ángulo de ataque de 90° .

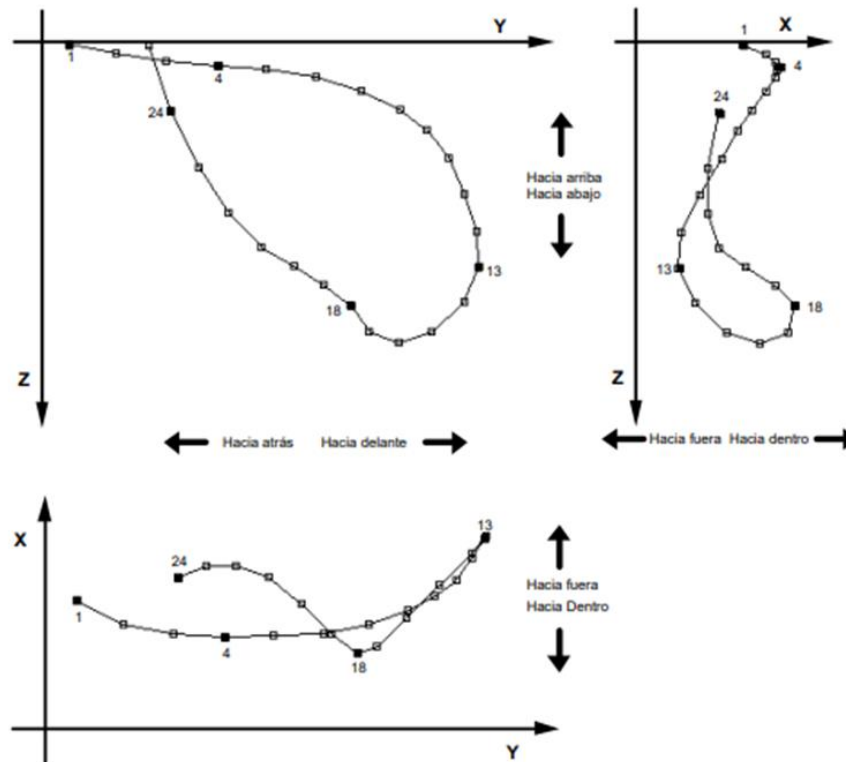


Gráfico 11. Proyección de las trayectorias propulsivas en los distintos planos de una nadadora del Equipo Nacional de natación (según (Arellano & Pardillo, 2015))

Planos: (Y,Z) Sagital, (X,Z) Frontal; (X,Y) Horizontal. Cada punto se digitalizó en intervalos de 1/25 s. Fase de Entrada: 1-4. Fase de Extensión: 5-8. Fase hacia abajo: 9-13. Fase hacia dentro: 13-18. Fase hacia arriba: 18-24.

Tiempo total de brazada en cada protocolo.							
	Brazada		Hombro		Mano		
Protocolo	Tiempo	BE	BNE	d	BE	BNE	d
NR	1.29 ± 0.14	53.50 ± 7.62	53.25 ± 10.69	-0.02	39.68 ± 7.04#	38.12 ± 10.73	-0.17
RD	1.31 ± 0.16	52.75 ± 6.76	64.87 ± 7.21*	-1.73	34.75 ± .53#	47.06 ± 8.01*	-1.89
ERD	1.33 ± 0.12	8.37 ± 6.19†	66.50 ± 8.50*	-7.81	12.12 ± 6.38#	51.18 ± 10.66	-4.44
ERI	1.29 ± 0.14	18.56 ± 7.43†	77.56 ± 11.23	-6.19	17.25 ± 6.88#	67.93 ± 14.00	-4.59
CRD	1.50 ± 0.19†	61.93 ± 8.99	54.31 ± 8.81*	0.69	42.93 ± 6.04#	35.62 ± 7.03*	1.11
CRI	1.52 ± 0.18†	65.43 ± 12.81	53.06 ± 13.73	0.93	52.12 ± 14.45	39.81 ± 10.99	0.95

Tabla 9. Valores de rotación, traslación, supinación y flexión adquiridos de los sensores colocados en el brazo derecho (hombro, antebrazo y mano)

Diferencias y tamaños del efecto (d) de la rotación máxima de hombros y del brazo ejecutor (BE) y del brazo no ejecutor (en nuestro caso fue el brazo izquierdo, al no utilizar los sensores de movimiento en el lado izquierdo) (BNE).

Valores expresados en grados (°). NR: No respiración; RD: respiración a la derecha; ERD: nado a crol con el brazo no ejecutor (BNE) extendido delante de la cabeza y respirando en el lado del brazo ejecutor (BE)

ERI: respirando a la izquierda; CBD: nado a crol manteniendo el BNE en el cuerpo y respirando a ese lado (a la derecha); CRI: respirando a la izquierda.

Diferencias significativas entre el lado BE y BNE (asimetría) (p < .05). # Diferencias estadísticas entre hombro y cadera (p < .05).

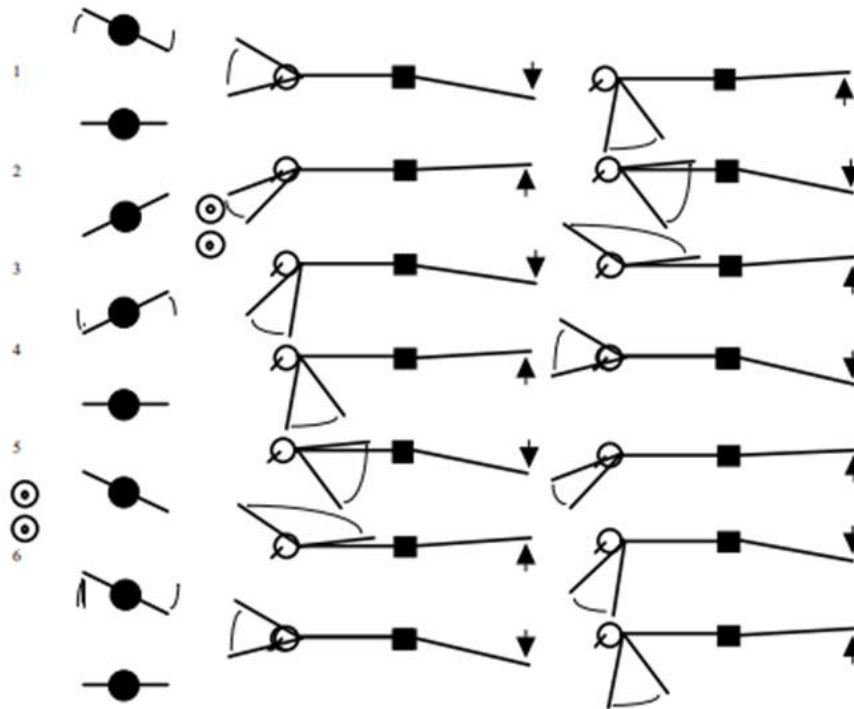


Gráfico 12. Diagrama de coordinación entre brazos y piernas en un ciclo del estilo crol. La primera columna representa la rotación de los hombros, junto con los momentos en que se realiza la inspiración (representados por círculos). La segunda columna representa la posición relativa del brazo y pierna derecha. La tercera columna representa la posición relativa del brazo y pierna izquierda. (BIOMECANICA DE LA NATACION, [KLAUS REISCHLE 2010](#))

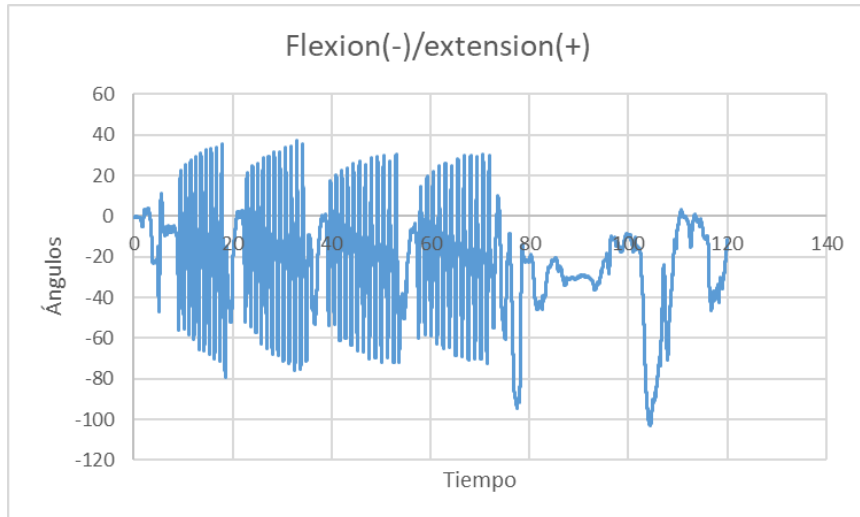
En el gráfico 12 se puede observar la manera de cuantificar el ángulo que forman los dos brazos cuando uno de ellos ha finalizado la entrada. Este ángulo es variable en función de las características de la técnica del nadador. Por ejemplo, los nadadores de pruebas de velocidad tienden a un ángulo entre brazos menor de 90° y los nadadores de pruebas de fondo tienden a valores mayores de 90° .

La media de nadadores obtiene valores próximos a 90° , independientemente de la especialidad. Daly (1984) en su tesis doctoral analizó un numeroso grupo de nadadoras de nivel internacional, relacionando el ángulo citado anteriormente con la coordinación entre las extremidades superiores e inferiores y obtuvo los siguientes resultados: 1) coordinación de dos tiempos ($117^\circ \pm 11^\circ$); 2) seis tiempos ($106^\circ \pm 14^\circ$); 3) combinada (4 tiempos) ($87^\circ \pm 10^\circ$).

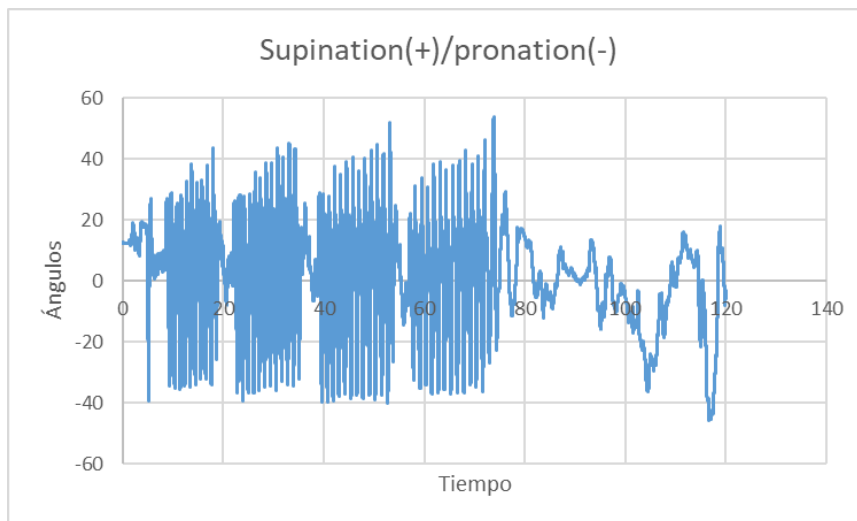
Es importante entender que en base a la teoría es como iremos sacando los valores óptimos para un atleta en cuanto a rango de movimiento teniendo en cuenta que estos serán medidos en ángulos, con los sensores utilizados pudimos realizar pruebas de flexión y supinación y así poder comparar con la teórica que tan cerca del rango de movimiento óptimo está el atleta, en cuanto a las diferencias observadas por el hecho de que por uno de los lados el nadador gira la cabeza para respirar, también pueden repercutir en el ángulo que forman los dos brazos. Para una flexión del codo máxima dada, incrementar la rotación longitudinal del tronco de 45° a 60° incrementa marcadamente el movimiento medial de la mano, pero no así el movimiento vertical.

Mediante la utilización de los sensores tenemos los próximos resultados de 3 atletas, el protocolo fue creado para 4 atletas, pero se realizó en 3 atletas ya que 1 atleta no pudo asistir a las pruebas.

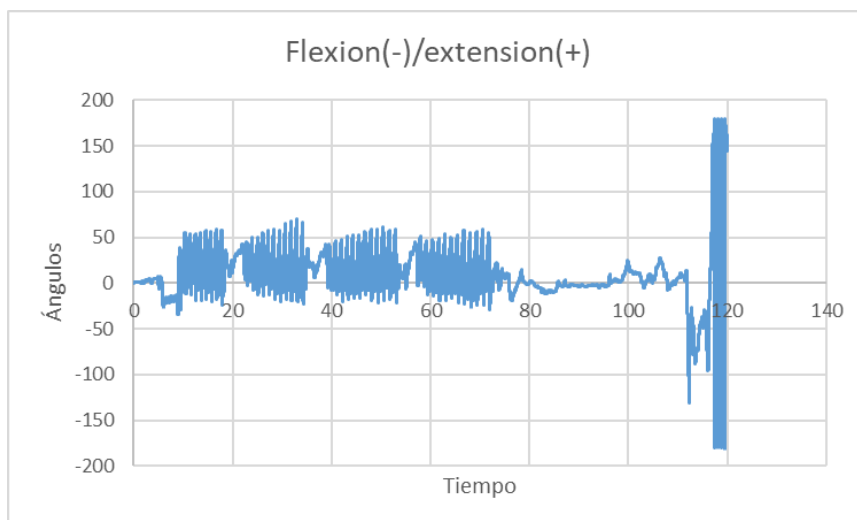
Atleta 2



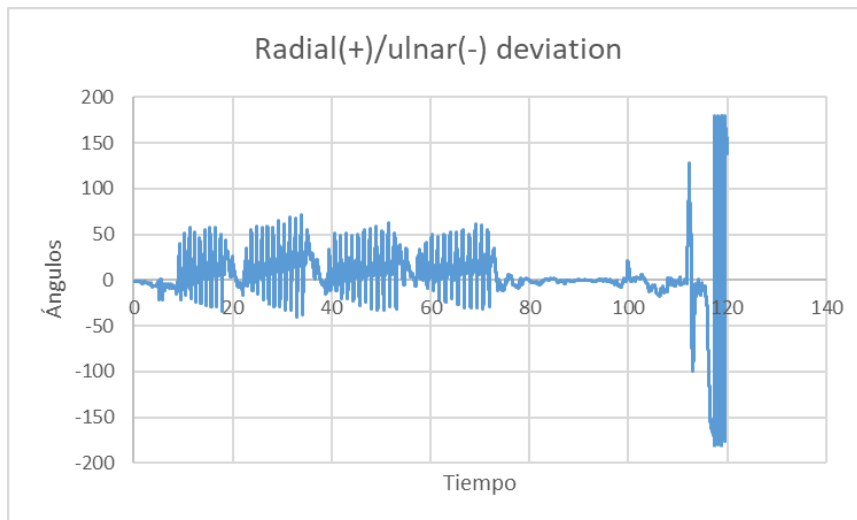
Grafica 13. Movimiento de flexión y extensión del antebrazo durante 140 segundos del atleta 2 en el cual se puede observar cómo su brazada es constante hasta llegar a la fatiga.



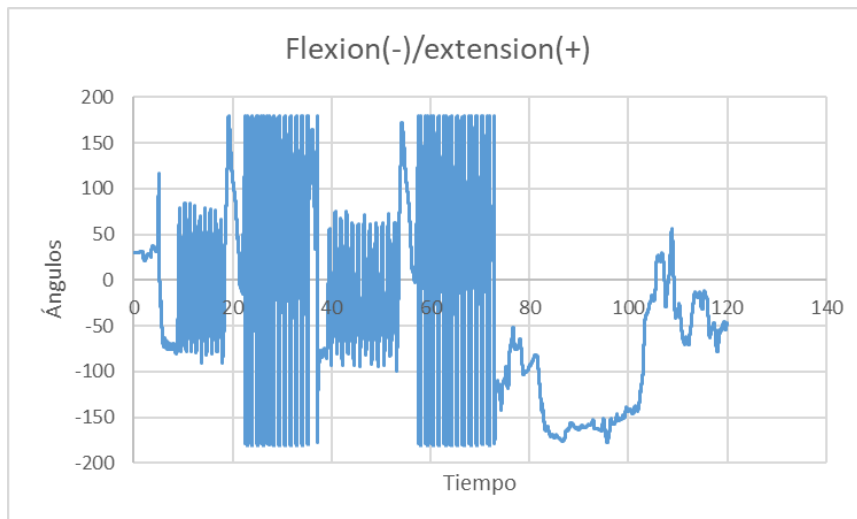
Grafica 14. Movimiento de supinación y pronación del antebrazo durante 140 segundos del atleta 2 observamos como se obtiene cierta resistencia hasta llegar a ser consistente.



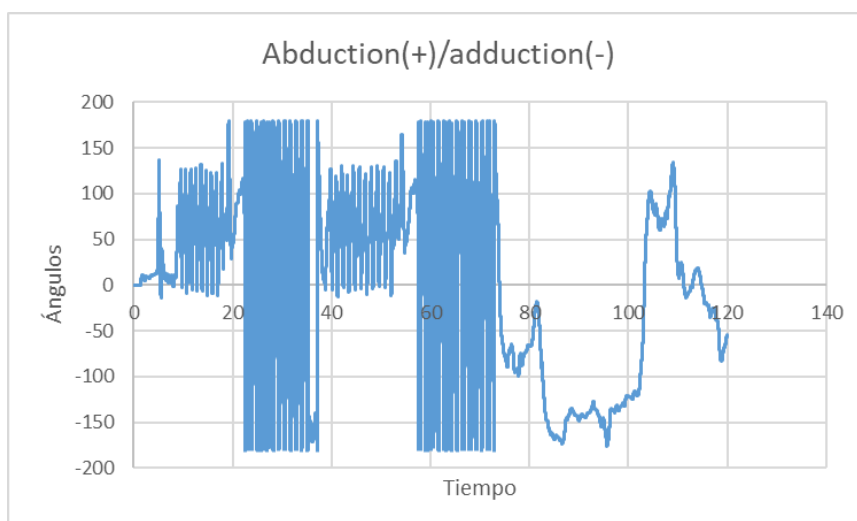
Grafica 15. Movimiento de flexión y extensión de la mano durante 140 segundos del atleta 2 teniendo una consistencia hasta llegar a la fatiga y querer volver a hacer esfuerzo.



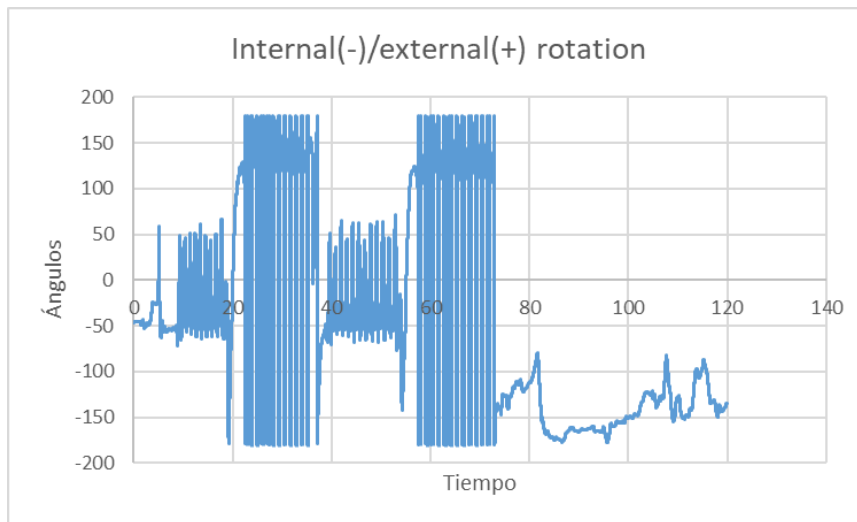
Grafica 16. Movimiento radial y ulnar de la mano durante 140 segundos del atleta 2 donde la constancia es un buen indicio de esfuerzo hasta la fatiga e intentando regresar al esfuerzo.



Grafica 17. Movimiento de flexión y extensión del hombro durante 140 segundos del atleta 2 tenido gran agitación desde el inicio con una inconstancia notable de movimiento.

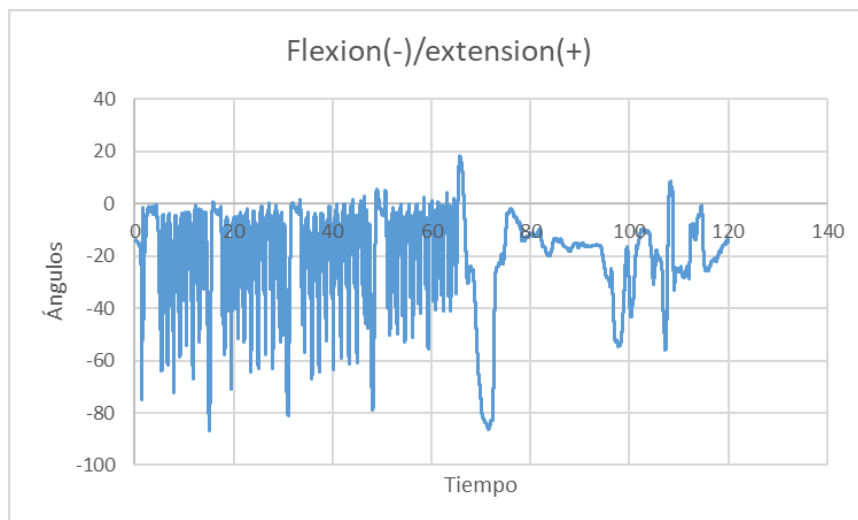


Grafica 18. Movimiento de abducción y aducción del hombro durante 140 segundos del atleta 2 tenido gran agitación desde el inicio con una inconstancia notable de movimiento.

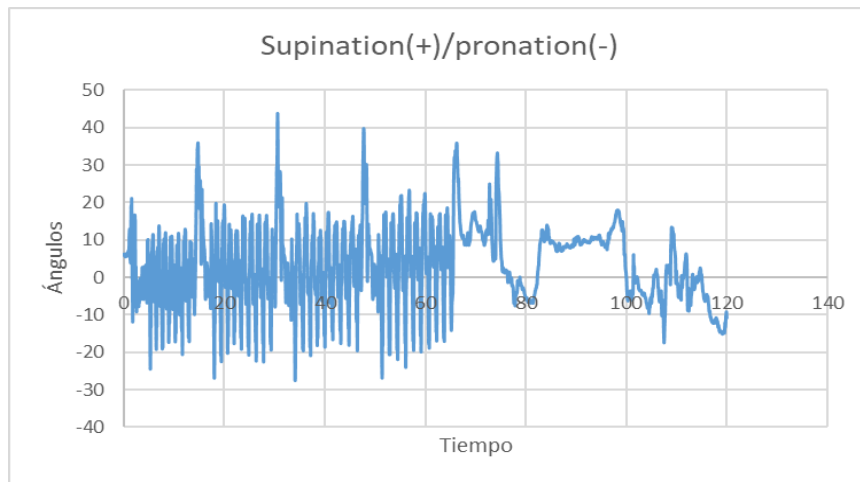


Grafica 19. Movimiento interno y externo rotativo durante 140 segundos del atleta 2 notando como a pesar del esfuerzo no se logra mantener constante y la fatiga en cuanto a movimientos más pausados.

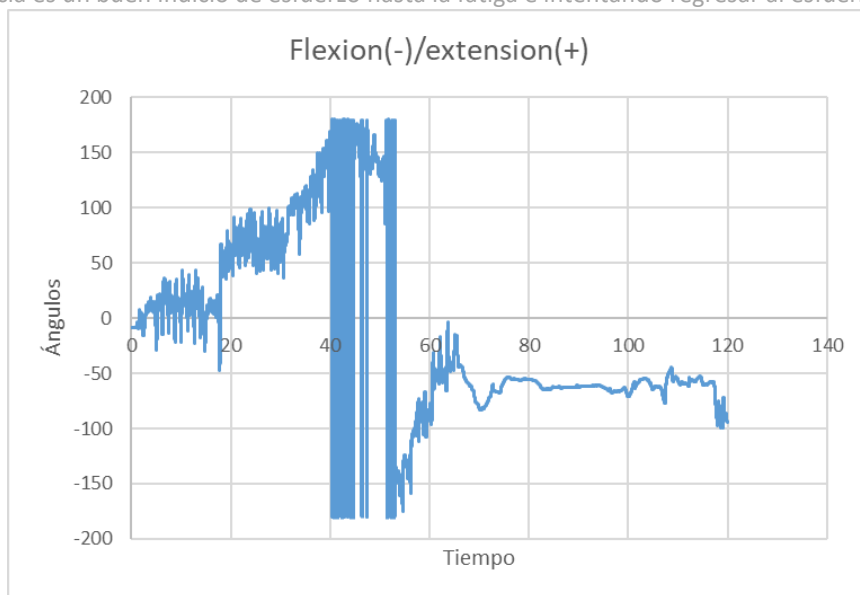
Athlete 3



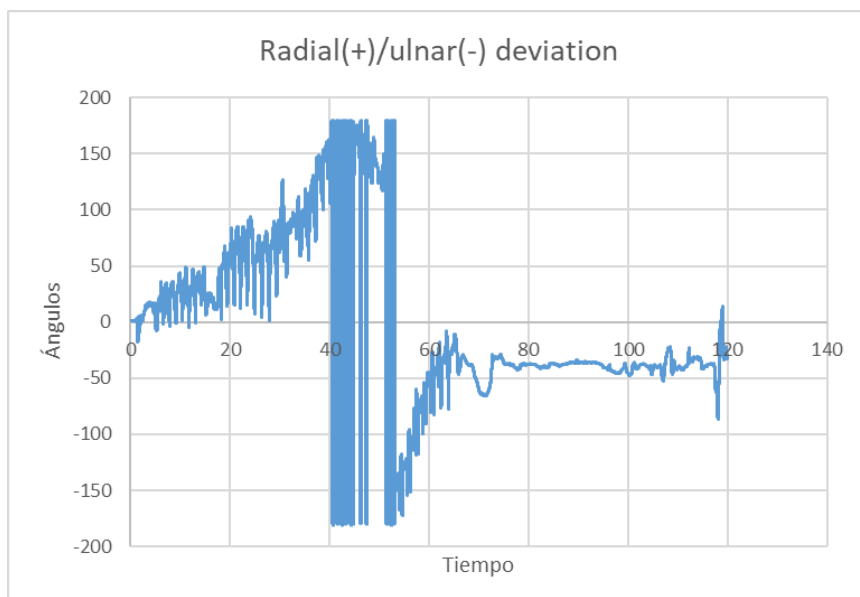
Grafica 20. Movimiento de flexión y extensión del antebrazo durante 140 segundos del atleta 3 se nota como las pausas empiezan a ser mayores y más distanciadadas en cuanto a tiempos.



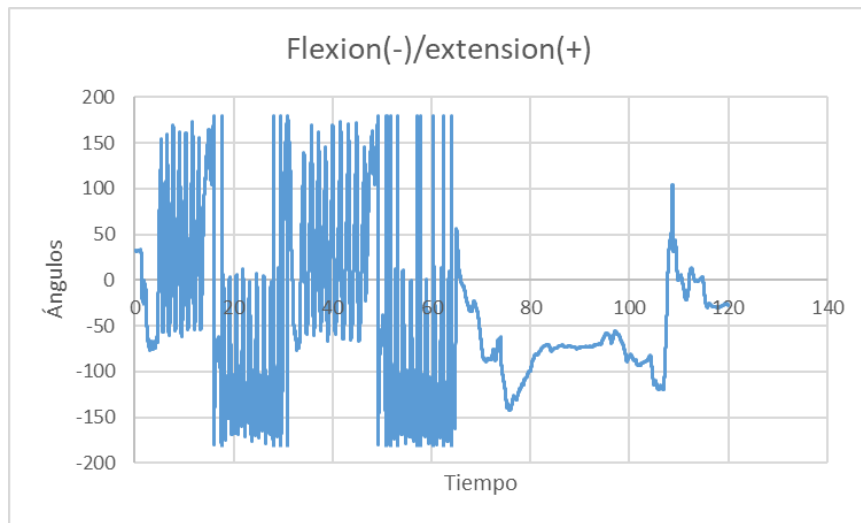
Grafica 21. Movimiento de supinación y pronación del antebrazo durante 140 segundos del atleta 3 donde la constancia es un buen indicio de esfuerzo hasta la fatiga e intentando regresar al esfuerzo.



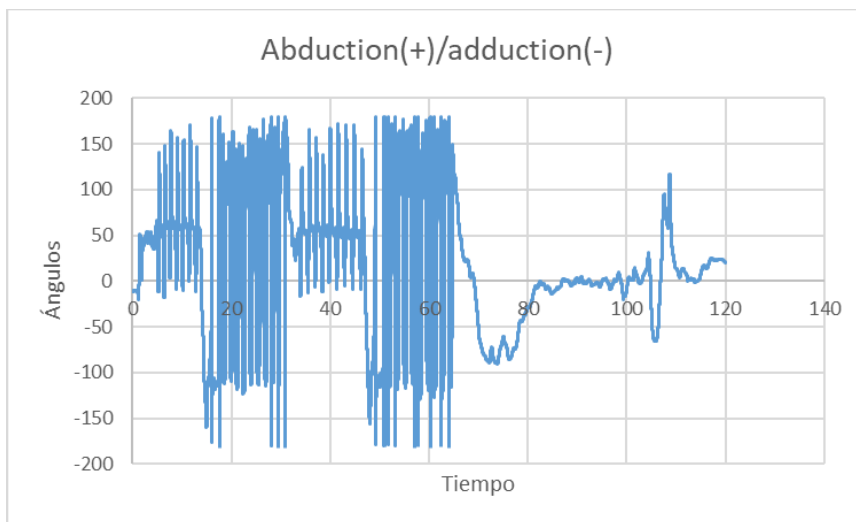
Grafica 22. Movimiento de flexión y extensión de la mano durante 140 segundos del atleta 3 mostrando como en un aumento abrupto de movimiento se llega a una fatiga con movimientos mas prologando de manera más rápida.



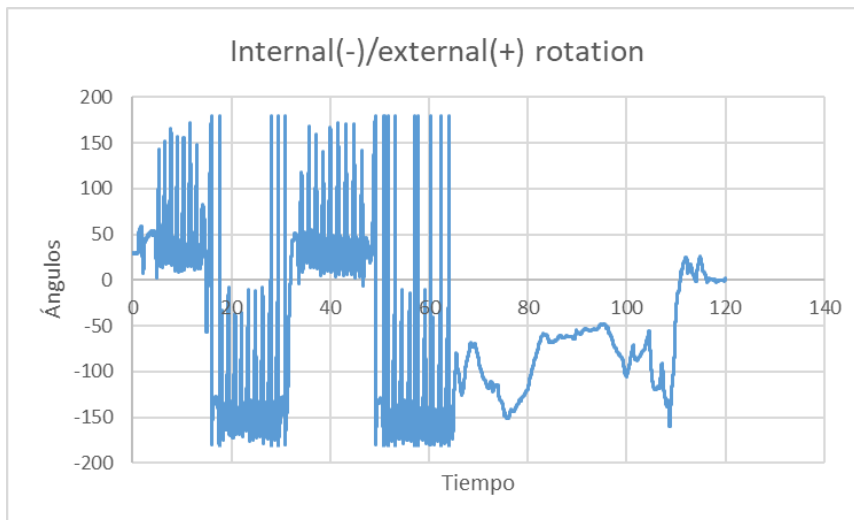
Grafica 23. Movimiento radial y ulnar de la mano durante 140 segundos del atleta 3 observamos como se obtiene cierta resistencia hasta llegar a ser consistente.



Grafica 24. Movimiento de flexión y extensión del hombro durante 140 segundos del atleta 3.

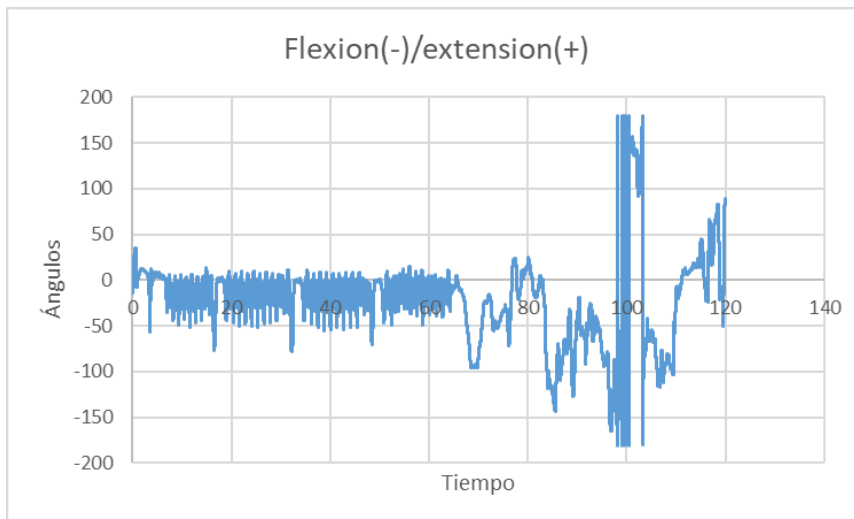


Grafica 25. Movimiento de abducción y aducción del hombro durante 140 segundos del atleta 3 la constancia de movimiento es observada en los ángulos positivos mientras que en los negativos podemos observar cómo cuesta más trabajo.

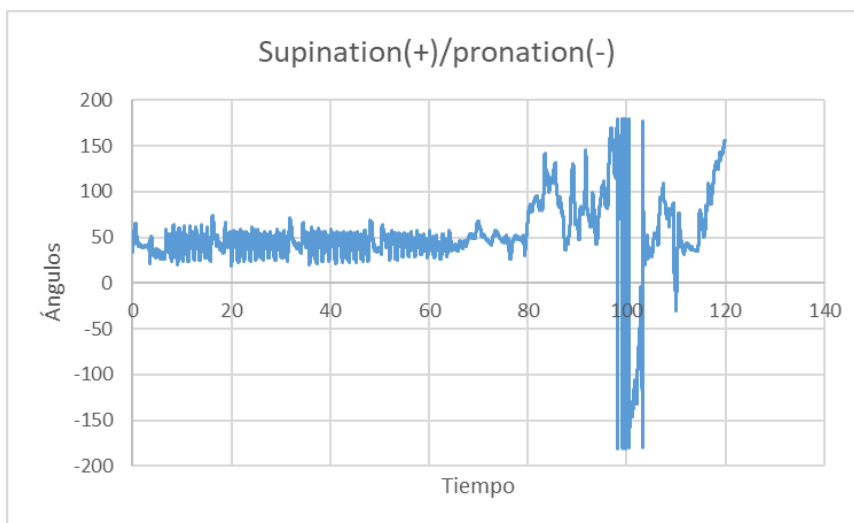


Grafica 26. Movimiento interno y externo rotativo durante 140 segundos del atleta 3 mostrando un dominio en cuanto a los movimientos con ángulos positivos con una gran eficiencia y constancia.

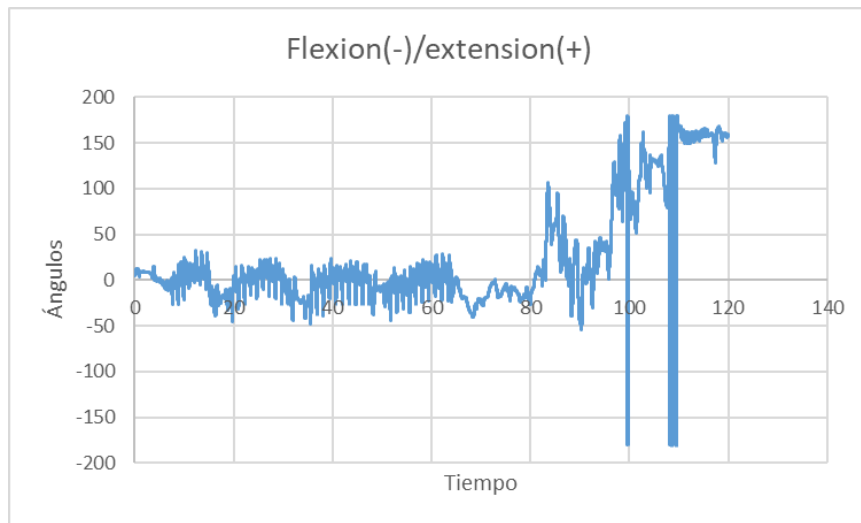
Athlete 4



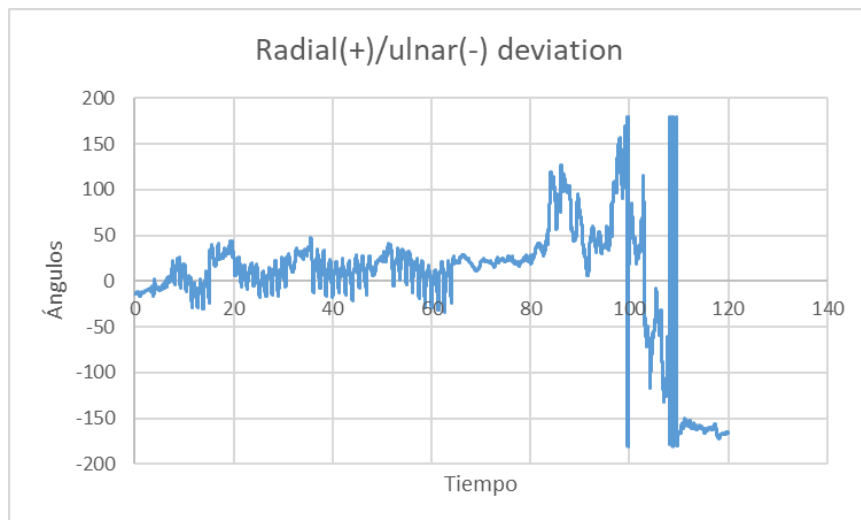
Grafica 27. Movimiento de flexión y extensión del antebrazo durante 140 segundos del atleta 4 notando como a pesar del esfuerzo no se logra mantener constante y la fatiga en cuanto a movimientos más pausados.



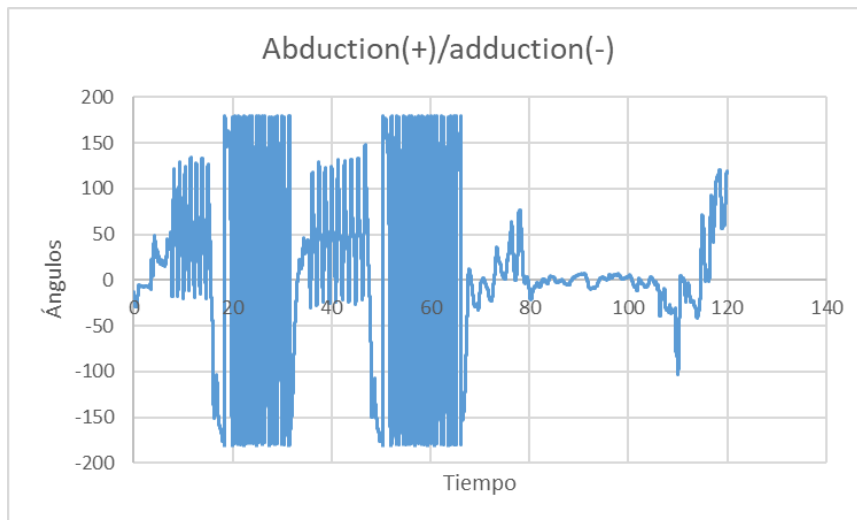
Grafica 28. Movimiento de supinación y pronación del antebrazo durante 140 segundos del atleta 4 teniendo una consistencia hasta llegar a la fatiga y querer volver a hacer esfuerzo.



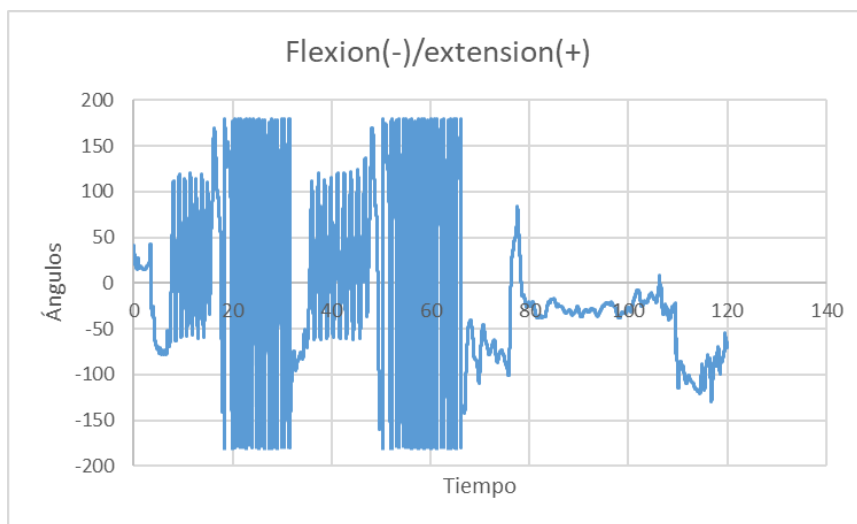
Grafica 29. Movimiento de flexión y extensión de la mano durante 140 segundos del atleta 4 en el cual se puede observar cómo su brazada es constante hasta llegar a la fatiga.



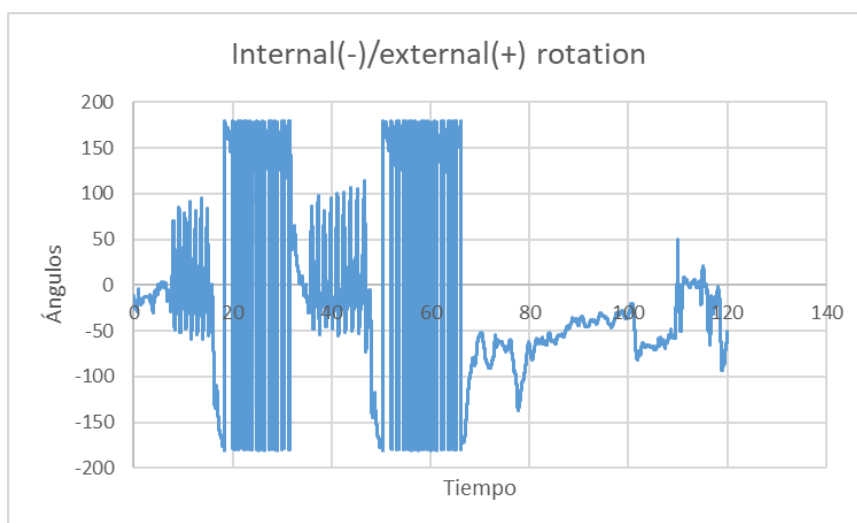
Grafica 30. Movimiento radial y ulnar de la mano durante 140 segundos del atleta 4 teniendo una consistencia hasta llegar a la fatiga y querer volver a hacer esfuerzo.



Grafica 31. Movimiento de flexión y extensión del hombro durante 140 segundos del atleta 4 mostrando la constancia entre movimientos de abducción y aducción, con intervalos de movimientos más pausados.



Grafica 32. Movimiento de abducción y aducción del hombro durante 140 segundos del atleta 4 mostrando intervalos donde los movimientos son más rápidos con pequeñas pausas de descanso mostrando al final una ligera variación de movimiento al esfuerzo.



Grafica 33. Movimiento interno y externo rotativo durante 140 segundos del atleta 4 mostrando intervalos donde los movimientos son más rápidos con pequeñas pausas de descanso.

Se ha registrado el tiempo total empleado en realizar el movimiento acuático de la mano y los tiempos empleados en cada una de las fases en que hemos dividido la tracción: tiempo de movimiento hacia abajo; tiempo de movimiento hacia dentro y tiempo de movimiento ascendente. El análisis de los parámetros temporales se ha realizado tanto en valores absolutos, expresándose la duración en segundos (s), como en valores relativos expresándose la duración de cada movimiento como porcentaje del tiempo total de la tracción o fase acuática completa (%).

Para la medida de los ángulos de rotación alrededor del eje longitudinal del cuerpo, se ha considerado asignar a los ángulos obtenidos, valor positivo cuando la referencia dorsal, y por tanto la línea de hombros, se encuentran inclinados hacia el lado del brazo ejecutor y valor negativo cuando la referencia dorsal, y por tanto la línea de hombros, se encuentran inclinados hacia el lado del brazo no ejecutor.

Con el software Kinovea, se realizaron las capturas para poder obtener los movimientos realizados durante la vuelta de campana, las medidas que se tomaron fueron; Eje longitudinal: es aquel que recorre el cuerpo en toda su longitud. Pasaría desde la cabeza hasta los pies. Eje anteroposterior o sagital: atravesaría de delante a atrás el cuerpo de forma perpendicular a los dos anteriores y Eje transversal: atraviesa transversalmente el cuerpo, perpendicularmente al eje longitudinal

Durante la fase inicial del viraje el nadador mantiene una posición relajada, cuando realiza el agrupamiento conserva los brazos pegados al cuerpo, inclina la cabeza en dirección al cuerpo. durante la fase del empuje el nadador debe tener un ángulo de aproximadamente de 82° manteniendo una posición apropiada de la espalda. Para finalizar gira su cuerpo de forma lateral durante el proceso de extensión conservando los brazos atrás de la cabeza. Basándonos en la teoría (Belloch, s. L. (2013). La investigación en biomecánica aplicada a la natación)

Atleta 3

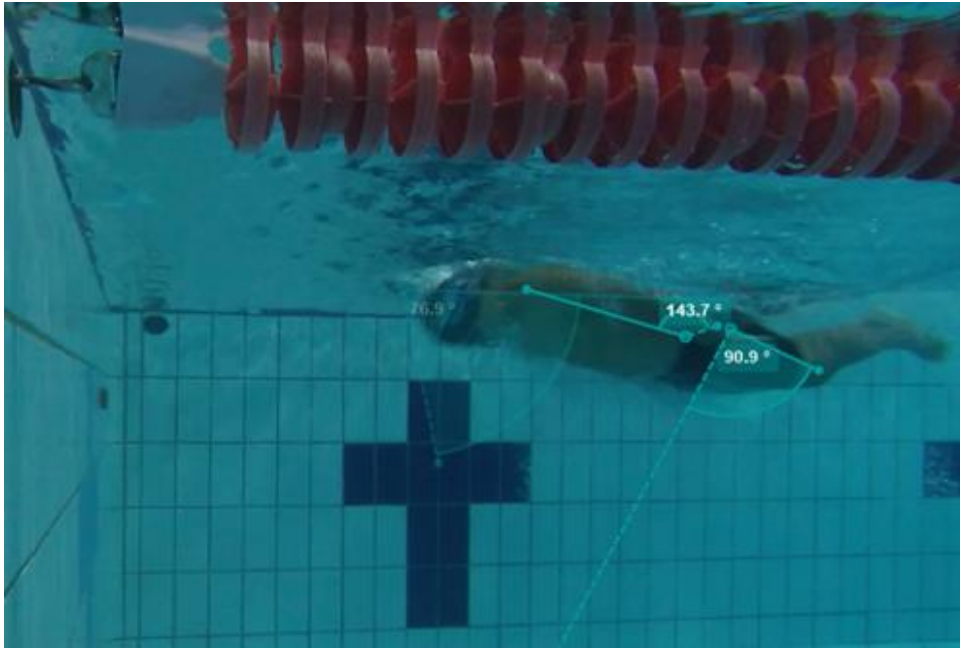


Gráfico 34. Preparación para la vuelta de campana



Gráfico 35. Movimiento en giro

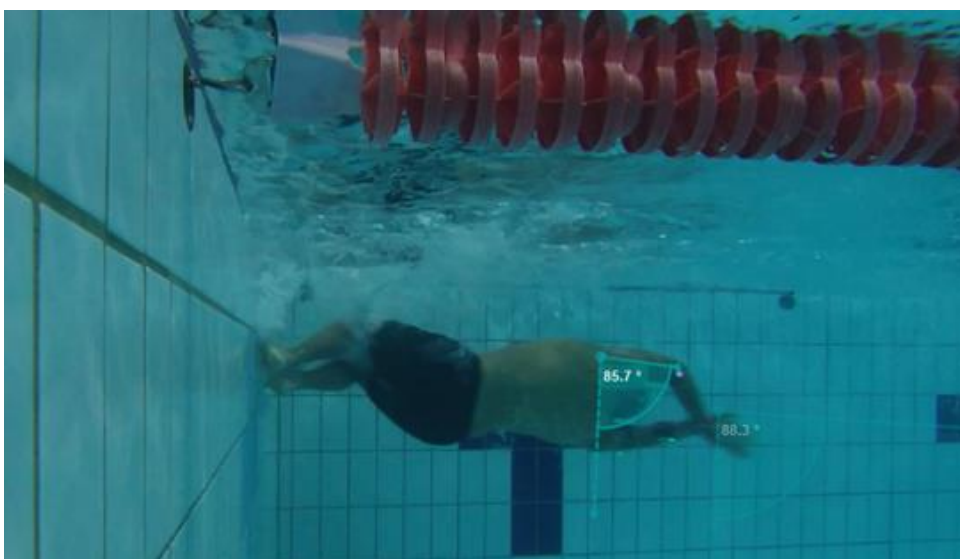


Gráfico 36. movimiento de impulso contra la pared

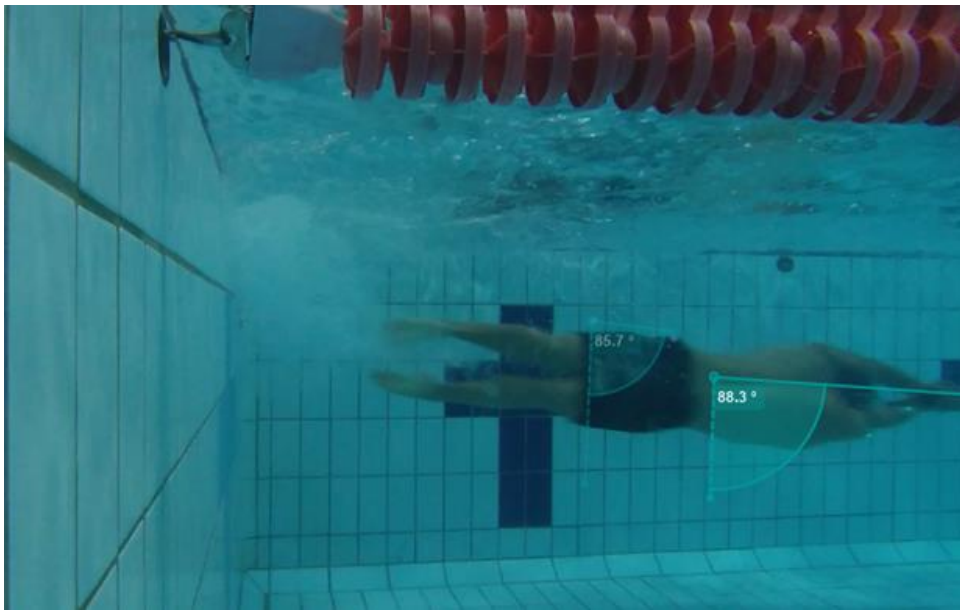


Imagen 7. Salida de flecha

Atleta 4

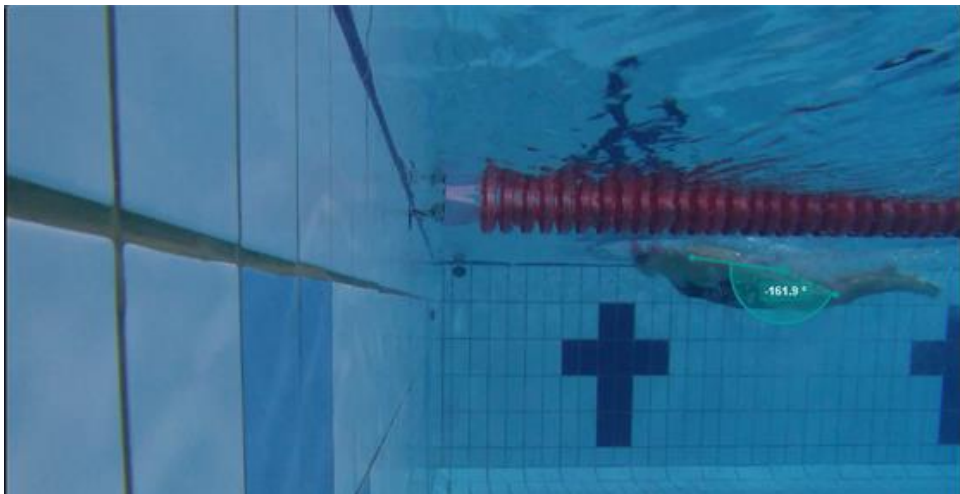


Imagen 8. Preparación para la vuelta de campana

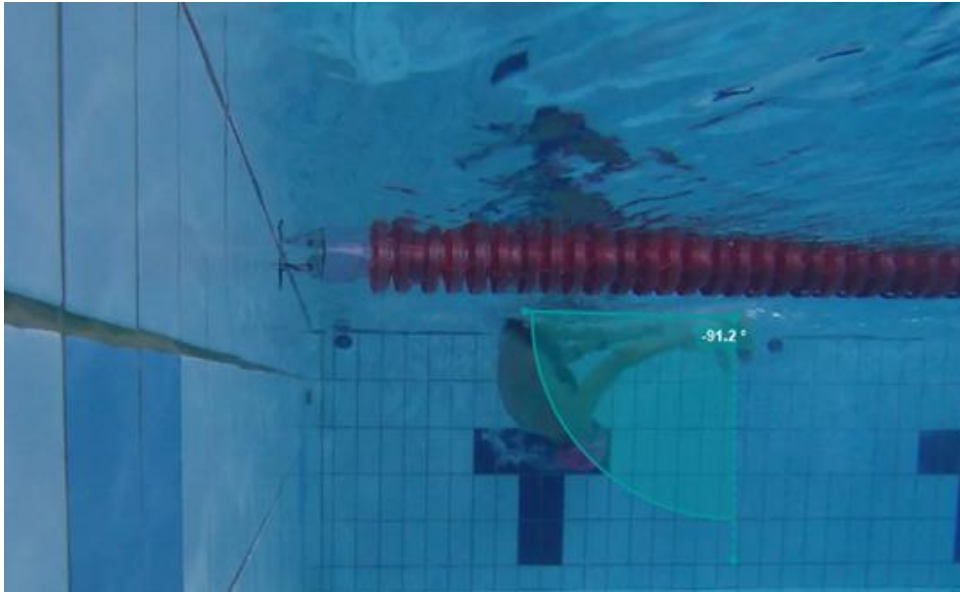


Imagen 9. movimiento en giro

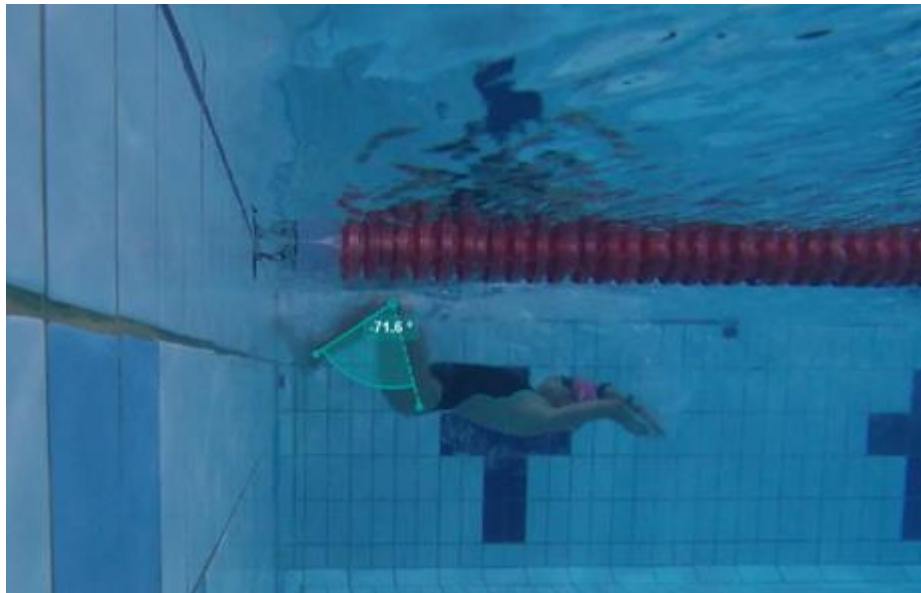


Imagen 10. Movimiento de propulsión

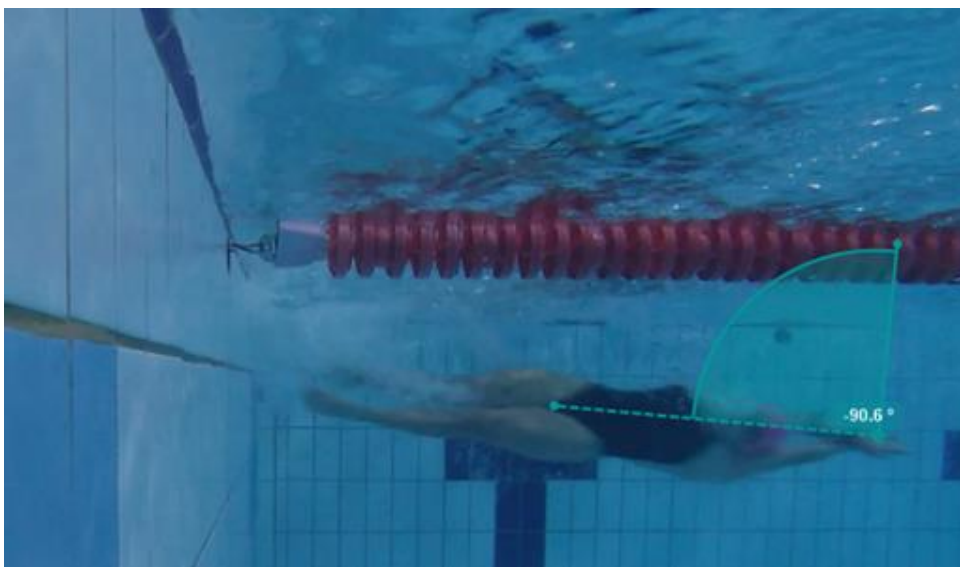


Imagen 11. Salida a propulsión

1.6 Valoración de productos, resultados e impactos

En la primera sesión se pudieron recolectar ángulos de flexibilidad y tiempos. Con ello se pudo entregar un reporte al entrenador con una propuesta de priorización de desarrollo de ciertas pruebas de flexibilidad sobre otras.

Como propuesta a partir de los hallazgos realizados sobre las pruebas de correlación sobre flexibilidad, se le hizo saber al entrenador que los factores más determinantes en la velocidad son flexión plantar de tobillo, extensión de hombros, flexión de tronco y por último hiperflexión de hombros, en ese orden mencionado.

Al ir a la empresa para la segunda sesión, presentaron una mejora en sus ángulos de flexibilidad al igual que en sus tiempos.

Ahora que se propusieron gráficas y análisis de los datos recolectados, se podría seguir con ellos y desarrollar más los análisis kinesiológicos, al igual que proponer un código de MATLAB para examinar con más detenimiento los datos encontrados con los sensores, así realizar un diagrama de Pareto y poder encontrar las posiciones y ángulos que influyen más en su dinamismo mientras nadan.

A su vez, con la implementación del lactómetro, se halló que un atleta tuvo un aumento de 3 mmol/L más que los otros, por lo que se recomendó al entrenador priorizar los ejercicios aeróbicos al nadador.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

- A.D.A.M. (s.f.). Examen del ácido láctico. Medline Plus. [En línea] Recuperado de: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003507.htm>
- Campos, E, et al. (2017). Anlabcic Contribution Determined in Swimming Distances: Relation with Performance. [En línea] Recuperado de: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2017.00755/full>
- Hidayat Yani, M, et al. (2019). Implementation of Motion Capture System for Swimmer Athlete Monitoring. [En línea] Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8901554>
- Álvarez, Israel. (2017). Protocolo Para La Determinación De La Amplitud De Movimiento En Natación. [En línea] Recuperado de: <https://g-se.com/protocolo-para-la-determinacion-de-la-amplitud-de-movimiento-en-natacion-bp-X58f5f9089454c>
- Arellano Colomina, r., Brown, P., Cappaert, J., Nelson, R. C. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games.
- Alemon, B. (2022). Dra. Ciencia de materiales. (p. C. Santana, entrevistador)
- Garcia, m. Y. (2022). Dra. Economía y empresas. (p. C. Santana, entrevistador)
- Internacional, c. O. (19 de 10 de 2020). Juegos olimpicos. Obtenido de <https://olympics.com/es/noticias/52-de-mexico-1968-la-natacion-entonces-y-ahora>
- Romo, a. (2017). Panamerican world. Obtenido de fernanda gonzález: la natación mexicana tiene nombre propio: <https://panamericanworld.com/revista/deportes/fernanda-gonzalez-la-natacion-mexicana-tiene-nombre-propio>
- Belloch, s. L. (2013). La investigación en biomecánica aplicada a la natación: evolución histórica y situación. Grupo de investigación en biomecánica aplicada al deporte (gibd)., 141.
- Marc Bächlin, G. T. (2012). Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors, Pervasive and Mobile Computing. [En línea] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S157411921100071X>, 8(1), 68–81
- García, I. (2022). Biomecánica en el deporte. Taller del Colegio Mexicano de Educadores Físicos.
- Barceló, Maryuli. (2003). La acidosis láctica en los deportistas. Escuela Internacional Educación Física y Deportes. [En línea] Recuperado de: <https://g-se.com/la-acidosis-lactica-en-los-deportistas-189-sa-f57cfb27113f22>
- Bielec, G., Makar, P., & Foliński, P. (2008). Biomechanical effects of application of the technique exercises in young swimmer training. Wroclaw: Science in Swimming II. 2008:, 51-959.

1.8 Anexos Generales

EXPEDIENTES

Atleta 1

15 de noviembre de 2001
20 años
Hombre

Mediciones antropométricas

Perímetros (m)

Cabeza	Cuello	Brazo relajado	Brazo contraído	Antebrazo	Muñeca	Tórax	Cintura	Glúteos	Muslo	Muslo medio	Pantorrilla	Tobillo
0.56	0.36	0.27	0.29	0.2	0.15	0.88	0.73	0.85	0.48	0.41	0.31	0.20

Peso (kg)

Longitudes (m)

	Estatura	Acromial-radial	Radial-dactiloidea	Iliocrestídeo-calcáneo	Biacromial
56.8	1.72	0.36	0.46	1.05	0.48

Tabla 12. Mediciones antropométricas del atleta 1.

Ángulo de flexibilidad

(°)	Días transcurridos		Referencia	
	0	21		
Hiperflexión de hombros	56.2	-	Correcto > 40°	Incorrecto < 24°
Extensión de hombros	77.1	-	Correcto > 108°	Incorrecto < 90°
Flexión plantar de tobillo	25.7	-	Correcto < 5°	Incorrecto > 20°
Flexión de tronco	78.6	-	Correcto < 36°	Incorrecto > 54°

Tabla 13. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 1.

Rendimiento

Días transcurridos	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Frecuencia cardiaca (lpm)			Ácido láctico (mmol/L)	
			Antes	Después	Recuperación	Antes	Después
0	01:02.2 62.2	1.61	83	106	83	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 14. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 1.

Atleta 2

26 de septiembre de 2004
17 años
Hombre

Mediciones antropométricas

Perímetros (m)

Cabeza	Cuello	Brazo relajado	Brazo contraído	Antebrazo	Muñeca	Tórax	Cintura	Glúteos	Muslo	Muslo medio	Pantorrilla	Tobillo
0.58	0.39	0.28	0.30	0.22	0.15	0.90	0.78	0.80	0.52	0.48	0.34	0.19

Peso (kg)	Longitudes (m)				
	Estatura	Acromial-radial	Radial-dactiloidea	Iliocrestídeo-calcáneo	Biacromial
62.0	1.73	0.32	0.44	1.00	0.46

Tabla 15. Mediciones antropométricas del atleta 2.

Ángulo de flexibilidad

(°)	Días transcurridos		Referencia	
	0	21		
Hiperflexión de hombros	79.8	79.9	Correcto > 40°	Incorrecto < 24°
Extensión de hombros	57.3	57.4	Correcto > 108°	Incorrecto < 90°
Flexión plantar de tobillo	32.6	32.4	Correcto < 5°	Incorrecto > 20°
Flexión de tronco	56.5	56.2	Correcto < 36°	Incorrecto > 54°

Tabla 16. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 2.

Rendimiento

Días transcurridos	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Frecuencia cardiaca (lpm)			Ácido láctico (mmol/L)	
			Antes	Después	Recuperación	Antes	Después
0	01:12.95 72.95	1.37	81	115	91	-	-
21	01:04.4 64.37	1.55	74	116	85	2.1	9.4

Tabla 17. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 2.

Atleta 3

15 de noviembre de 2002
19 años
Hombre

Mediciones antropométricas

Perímetros (m)

Cabeza	Cuello	Brazo relajado	Brazo contraído	Antebrazo	Muñeca	Tórax	Cintura	Glúteos	Muslo	Muslo medio	Pantorrilla	Tobillo
0.58	0.38	0.32	0.34	0.26	0.16	1.03	0.84	0.93	0.58	0.55	0.36	0.21

Peso (kg)

Longitudes (m)

Estatura	Acromial-radial	Radial-dactiloidea	Iliocrestídeo-calcáneo	Biacromial
72.7	1.71	0.34	1.00	0.53

Tabla 18. Mediciones antropométricas del atleta 3.

Ángulo de flexibilidad

(°)	Días transcurridos		Referencia	
	0	21		
Hiperflexión de hombros	79.1	79.1	Correcto > 40°	Incorrecto < 24°
Extensión de hombros	62.9	63.1	Correcto > 108°	Incorrecto < 90°
Flexión plantar de tobillo	30.1	29.9	Correcto < 5°	Incorrecto > 20°
Flexión de tronco	42.7	42.7	Correcto < 36°	Incorrecto > 54°

Tabla 19. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 3.

Rendimiento

Días transcurridos	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Frecuencia cardiaca (lpm)			Ácido láctico (mmol/L)	
			Antes	Después	Recuperación	Antes	Después
0	01:10.25 70.25	1.42	88	103	85	-	-
21	01:01.1 61.1	1.63	90	110	93	1.9	6.6

Tabla 20. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 3.

Atleta 4

28 de noviembre de 2003
18 años
Mujer

Mediciones antropométricas

Perímetros (m)

Cabeza	Cuello	Brazo relajado	Brazo contraído	Antebrazo	Muñeca	Tórax	Cintura	Glúteos	Muslo	Muslo medio	Pantorrilla	Tobillo
0.55	0.36	0.29	0.31	0.21	0.15	0.89	0.70	0.88	0.54	0.47	0.32	0.20

Peso (kg)	Longitudes (m)				
	Estatura	Acromial-radial	Radial-dactiloidea	Iliocrestídeo-calcáneo	Biacromial
56.2	1.61	0.34	0.41	0.97	0.47

Tabla 21. Mediciones antropométricas del atleta 4.

Ángulo de flexibilidad

(°)	Días transcurridos		Referencia	
	0	21		
Hiperflexión de hombros	69.0	69.1	Correcto > 40°	Incorrecto < 24°
Extensión de hombros	65.7	65.9	Correcto > 108°	Incorrecto < 90°
Flexión plantar de tobillo	29.7	29.3	Correcto < 5°	Incorrecto > 20°
Flexión de tronco	43.9	43.8	Correcto < 36°	Incorrecto > 54°

Tabla 22. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 4.

Rendimiento

Días transcurridos	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Frecuencia cardiaca (lpm)			Ácido láctico (mmol/L)	
			Antes	Después	Recuperación	Antes	Después
0	01:16.7 76.7	1.30	102	128	102	-	-
21	01:08.35 68.35	1.46	99	123	87	2.9	7.3

Tabla 23. Tres mediciones de ángulos de flexibilidad del atleta 4.

2. Productos

2.1 Ficha descriptiva

Nombre y código del PAP	4F04 - PAP PROGRAMA PARA MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y LOGISTICA EN LA INDUSTRIA REGIONAL
Nombre del proyecto	Análisis biomecánico de natación
Descripción	Es un estudio que se realizará para el estilo de crol mediante sensores de movimiento los cuales arrojan simulaciones 3D, el propósito es mejorar el rendimiento de los atletas de un entrenador en la empresa Carril4tro
Autores	Elías Salvador López Islas, Sofía Sánchez Bocanegra

2.2 Reporte

Un documento el cual contiene un resumen del apartado 1.5 *Desarrollo de la Propuesta de Mejora* se entrega al entrenador, al igual que los expedientes de los atletas.

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

Es de gran ayuda el RPAP puesto que nos va haciendo conscientes de lo que hemos ido avanzando o de las carencias que se han llegado a tener, poder ver si hay algún problema o si se necesitan replantar las acciones que se han ido tomando, reconocer las áreas de mejora y poder explotar al máximo este proyecto.

3.1 Sensibilidad ante las realidades

Elias Salvador López Islas:

Fue muy importante para mí el darme cuenta sobre cuan olvidada esta la proyección de atletas mexicanos, como se ha ido perdiendo ese compromiso por crear atletas nuevos y competentes en un mundo que sigue avanzando en récords, en disciplina en las tecnologías para el mejoramiento del atleta en natación. Es importante ver como países como Estados Unidos, España, inclusive países como Francia o Portugal, se esfuerzan al máximo dándoles todo a sus atletas olímpicos en la natación, mientras que en México a menos de que sea una institución privada, constantemente se tiene el riesgo de perder maestros, equipos o instalaciones.

Para mí es muy importante aportar en el ambito deportivo, ser conscientes que en México las posibilidades de ser un atleta importante fuera del futbol son muy bajas, por lo cual muchos deciden rendirse o no intentarlo, este proyecto tiene un enfoque para el cambio de visión, donde de poco a poco se puedan ir generando cambios, se puedan ir haciendo acciones de cambio para que aquellos que no juegan futbol puedan desenvolverse en el deporte que más les guste y ser capaces de competir con aquellos que sus tecnologías son muy avanzadas.

Como ingeniero mecánico estoy dispuesto a aportar mis conocimientos matemáticos, ya sea para formular ecuaciones o ir desarrollando funciones aplicadas al cuerpo humano y de esta manera poder dar una mayor eficiencia una mejor calidad, con las cuales los atletas puedan darse cuenta en los aspectos a mejorar, y así siendo competentes fuera de México.

Sofía Sánchez Bocanegra:

Los años que he recibido una educación jesuita han despertado en mí un sentido de intransigencia. Nosotros podemos reconocer que hay situaciones allá afuera que no están bien, a veces por la falta de dinero u oportunidades, o en otras ocasiones porque son oprimidos por acciones egoístas o negligentes de otros ¿Pero hasta qué punto llevamos ese sentimiento de poca tolerancia?

Estoy llamada a tomar acción, siempre teniendo presente mis motivaciones y que a partir de la intervención resultará en un bien mayor por aquellos atletas que tienen la capacidad y disciplina de ser los mejores del mundo en lo que hacen.

Después de conocer la realidad detrás del poco apoyo y falta de tecnología hacia los atletas de alto rendimiento, priorizando horas de entrenamiento, pero dando por alto los procesos metabólicos y kinesiológicos dentro de sus cuerpos; mediante mi carrera y los conocimientos adquiridos durante el camino sabía que algo se debe de hacer al respecto y crear un sistema para que lo puedan replicar.

32. Aprendizajes logrados

Elias Salvador López Islas:

En este segundo PAP ha sido una fuente de mucho conocimiento, desde el apartado teórico hasta el práctico, la disciplina y la constancia que tuve fueron de vital importancia ya que me encargaba de tomar las mediciones con los sensores y tomar algunos videos, los cuales irían dando información con la cual trabajaría todo el equipo, la comunicación también fue de vital importancia, aunque al principio llego a ser complicada y un poco escasa con el tiempo fuimos tomando impulso y de esta manera se llegaron a obtener mejores resultados, uno de los mayores retos fue realizar el protocolo y el RPAP ya que este PAP es de investigación por lo cual se trabaja de manera distinta, se pudieron cumplir los requisitos y concretar los puntos necesarios para poder entregar un buen escrito y tener la parte teórica lo más pulida posible, fui importante leer más documentos, tener mayor comunicación y tomar el tiempo necesario para poder realizar los datos necesarios.

Los aprendizajes que fui adquiriendo fueron con el tiempo ya que en la parte teórica aprendí sobre la biomecánica, como el cuerpo reacciona ante diferentes cambios en el ambiente, sus limitaciones, aprendí sobre hidrodinámica y como esta tiene afectaciones importantes en la natación, al momento de comenzar a lo práctico, el uso de los sensores, la cámara y el cómo se trabaja dentro de una institución de natación fueron conocimientos muy importantes porque de esta manera puedo llegar a entender más el comportamiento del cuerpo, como afecta la hidrodinámica y el poder trabajar cara a cara con un atleta.

Sofía Sánchez Bocanegra:

Al inicio tuve que investigar sobre los huesos, los músculos y las articulaciones. Fue una tarea difícil, pero con todas las herramientas virtuales e investigaciones sobre ello, al igual que el haber tomado un taller de biomecánica fue de mucha ayuda para poder aprender lo que necesitaba para manejar correctamente este proyecto.

También gané experiencia escribiendo documentos de investigación realizando el RPAP. Tanto el escribir textos científicos como poder divulgar esos textos a cualquier audiencia, en este caso a entrenadores, ha sido un aprendizaje y una buena experiencia.

3.3 Inventario de competencias Inicial y final.

Elias Salvador López Islas:

Inicio PAP:

Al empezar mis conocimientos en su mayoría eran técnicos, cálculos de variables múltiples, integración, derivación, el uso de softwares como Solidworks, autocad, ansys, Fluis sim entre otros.

Mis habilidades; liderazgo, gestión de equipo, desarrollo de diferentes papeles de trabajo, compromiso y dedicación.

Mis actitudes; organización, puntualidad, responsable.

Competencias nuevas.

He sido capaz de entender de mejor manera las ecuaciones de hidrodinámica, una amplitud en cuanto a la técnica del nado y la importancia de la biomecánica; los ángulos que tiene el cuerpo, los diferentes movimientos que tiene el mismo ya sea de rotación, o torsión, también aprendí a utilizar el software Kinovea y Wearenotch, los cuales son sumamente interesantes ya que ayudan a calcular los diferentes movimientos y sus ángulos, para de esta manera poder sacar promedios.

Competencias potencializadas.

El conocimiento técnico en cuanto al cuerpo humano, el conocimiento técnico de la natación. El uso del programa Kinovea y Wearnotches, con sus respectivos cálculos angulares y morfológicos.

Las diferentes pruebas para poder potenciar al cuerpo humano en cuanto a flexibilidad y desarrollo morfológico.

Para mí es muy importante el análisis ya que nos damos cuenta de cómo el antes y después y del cómo vamos evolucionando.

Rojo: Nuevo

Negritas: Potencializado

Elias López

	Competencia		Evidencia	Relevancia/Fortaleza*
Categorizar los elementos, si es un conocimiento, una habilidad, una actitud,	Conocimientos	Cálculos ingenieriles Mecánica del cuerpo	Mecánica de fluidos, Solidos deformables, termodinámica. Protocolo de estudio	Puede obtener conocimientos sobre flotabilidad, viscosidades y densidades. Puedo elaborar papers, sobre la investigación de biomecánica de natación con sensores wearnotch

	<p>human o</p> <p>E studio del arte</p> <p>C onocimi ento técnico sensore s</p>	<p>Cotizacion es</p> <p>Fichas técnicas</p>	
	<p>Pr ograma s</p>	<p>Matlab, SolidWorks, Autocad</p> <p>Wearnotch Sensores</p>	<p>Aprendí a resolver ecuaciones o analizar fluidos, componentes.</p> <p>Aprendí a utilizar sensores wearnotch</p>
	<p>C onocimi ento técnico</p>	<p>Conexión, usos inversores solares y equipo inteligente</p>	<p>Adquirí habilidad para conectar equipos mediante routers, wifi.</p>
	<p>G estión de proyect os</p> <p>Ti empo de ejecuci ón de proyect o</p> <p>V alidació n de protocol o de estudio</p>	<p>Certificado por ITESO "Project Management One Hube Ti donde se someten documentos ante comite</p>	<p>Forma estructurada de ejecutar proyectos, con calendario y metas.</p>
<p>Habili dades</p>	<p>In iciativa</p>	<p>Trabajo laboral</p>	<p>Es esencial para poder ejecutar metas o trabajos.</p>

		Iniciativa		
		Comprometido	Trabajo y deporte	¿Involucrado o comprometido? Es estar totalmente dentro del tema a tratar
		Dedicado	Proyectos laborales	Sumamente importante darles tiempo a las cosas y comprometerte
	Actitudes	Organizado	Tableros para vida y trabajo	Ayuda a tener un orden para ejecutar más rápido el trabajo.
		Responsable	En mi vida En el proyecto	Aporta a ser comprometido y dedicado.
		Honesto	En todo	Aporta confianza al equipo, interna o externo.

Sofía Sánchez Bocanegra:

Las celdas con relleno de color amarillo son las nuevas o desarrolladas durante el PAP. Las blancas son las iniciales.

Competencia	Evidencia	Relevancia/Fortaleza*	
Conocimientos	Ingeniería mecánica	Buen desempeño en la carrera, con buen promedio	Alta
	Estadística	Buen desempeño en la materia y tutora en CAXA	Alta
	Programación	Certificaciones	Media
	Idiomas	Certificaciones en inglés, francés y coreano	Media
Habilidades	Análisis de datos	Manejo de Minitab y Excel	Alta
	Investigación	Consulta en sitios confiables	Alta
	Recursos digitales	Buen manejo de computadoras y rápido aprendizaje con cualquier dispositivo y programas	Alta
	Divulgación de la ciencia	Saber exponer los hallazgos científicos a los directivos en la empresa	Media
Actitudes	Apertura	Escucha activa en indicaciones y opiniones	Alta
	Curiosidad	Investigación previa y preguntas para entender el contexto completo	Alta

	Servicio	Buena atención hacia los demás, tomando en cuenta sus ideas y necesidades	Alta
	Organización	Buenos resultados en tiempo y forma	Media
	Liderazgo	Organizo un proyecto institucional, ITESO Racing Team	Media
	Persuasión	Mediante pruebas y datos demostrables	Media
	Solución de problemas	Adaptarse rápido y fácil ante las adversidades que se presenten.	Media

3.4 Dimensión persona

Elias Salvador López Islas- El mundo del PAP

Ciertamente ya ha pasado tiempo, ya han sido 6 meses desde que empezamos esta investigación, han ido surgiendo cambios en cuanto a la visión y la forma de ser.

Fui interesante como el desarrollo de este proyecto pudo sensibilizar, ya que se dio cuenta de las diferentes carencias que había en el país, sin embargo, más que desilusionar, creo una nueva meta en la cual sería capaz de poner un pequeño grano de arena en cuanto ayudar a su país, a pesar de ser una tarea completamente diferente a lo que ya estaba acostumbrado entendía que era más importante ayudar, crear una mejora en cuanto al ámbito del atleta, hubo diferentes obstáculos, ciertos errores, he inclusive momentos de desesperación.

Pero la meta era crear un sistema para que el atleta mexicano no se quedara atrás en ninguna de las disciplinas que participara, es muy como ser reconocidos por el futbol, pero todos los demás deportes también son importantes y que mejor que ser reconocidos también por todos los demás. Paso el tiempo, se realizaron pruebas, esquemas, tablas y gráficas, se logró dar el primer paso en un gran proyecto para revolucionar la natación.

Sofía Sánchez Bocanegra:

Mi brújula es una lista de prioridades. En primer lugar, está mi crecimiento personal y laboral. En segundo lugar, es la ética y el servicio al otro, el ver al más desprotegido, pues es el que está en más desventaja y quisiera que todos podamos estar al mismo nivel, eventualmente. Así como yo busco alcanzar mi plenitud y mis metas, en el camino quiero ayudar a que los demás también.