

Desarrollo de un sistema para el estudio de la técnica de arranque en deportistas de halterofilia para la mejora de la técnica y prevención de lesiones.



Jhon Kenneth Lasso López

Corporación Universitaria Comfacauca.
Facultad de Ingenierías
Ingeniería Mecatrónica
2023

Desarrollo de un sistema para el estudio de la técnica de arranque en deportistas de halterofilia para la mejora de la técnica y prevención de lesiones.



Estudiante:
Jhon Kenneth Lasso López

**Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

Director:
Ph.D. Diego Andrés Campo Ceballos
Profesor asociado Ingeniería Mecatrónica - ComfacaUCA

Co-Directora:
MSc. Ángela María Muñoz Molano
Profesora Fisioterapia
Fundación Universitaria María Cano – FUMC - Popayán

Corporación Universitaria ComfacaUCA.
Facultad de Ingenierías
Ingeniería Mecatrónica
2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Popayán Cauca, 20 de junio del año 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre y padre María Eliza y Jose Kenedy, ya que su amor y soporte me han permitido llegar a donde estoy, por darme la oportunidad de educarme, a mi hermana María Alejandra por estar siempre e incondicionalmente para mí y motivándome a seguir adelante a pesar de las adversidades.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, padre y hermana por darme apoyo incondicional, por darme alientos para seguir adelante. También a Mariana Isabel por darme soporte y confianza cuando lo necesitaba.

Al Ph.D. Diego Andrés Campo por toda la ayuda y motivación brindadas, durante la elaboración de este proyecto.

A Alexander Guzmán por permitirme realizar las pruebas en la liga de halterofilia del Cauca con una actitud desinteresada y dispuesta a ayudar. A los deportistas de la Liga de halterofilia del Cauca por ofrecerse a participar en las pruebas realizadas al sistema

A la Corporación Universitaria Unicomfacauca por darme una excelente formación académica y por el crecimiento personal y profesional adquiridos durante mi proceso de formación.

Resumen

El documento presenta el desarrollo de un sistema para la clasificación de trayectorias de la barra en el plano sagital con el objetivo de reducir el riesgo de lesión mejorando la técnica del movimiento arranque o “*snatch*”. Para el desarrollo de la investigación se hizo uso del análisis documental y de la metodología de diseño “*V-shape*”.

Haciendo uso del análisis documental se establecen las variables a medir del dispositivo y las variables a considerar para caracterizar los deportistas participantes del experimento. Con las variables definidas, se inicia el proceso de diseño, implementación y mejora del sistema. La detección de la barra en el plano sagital se realizó por medio de la transformada de Hough para detección de círculos, además se implementó la calibración de la cámara por el método Zhang y otras transformaciones a las imágenes. Para clasificar las trayectorias, se calculó la desviación estándar de la diferencia entre la trayectoria del deportista y la trayectoria de referencia. Se contó con la participación de 19 atletas de la liga de levantamiento de pesas del Cauca donde por cada deportista se registraron 3 levantamientos. La caracterización de la población muestra que la mayoría de los encuestados se encuentran entre los 13 a 24 años de edad. El 57.9% de los encuestados cuentan con hasta 24 meses de experiencia en el deporte,

Como resultado se logró obtener que la mayoría de los encuestados registra una trayectoria de tipo C, sin embargo, se debe tomar en cuenta la desviación estándar de la diferencia entre la trayectoria registrada por el deportista y la trayectoria de referencia ya que, si el valor es grande puede que se tengan oportunidades de mejora. Respecto a la

validación del sistema desarrollado, se obtuvo una buena aceptación del sistema por parte de los participantes.

Palabras clave: halterofilia, técnica de arranque, lesiones deportivas, procesamiento de imágenes, trayectorias de la barra

Abstract

The document presents the development of a system for the classification of trajectories of the bar in the sagittal plane with the aim of reducing the risk of injury by improving the snatch movement technique. For the development of the investigation, documentary analysis and the "V-shape" design methodology were used.

Using documentary analysis, the variables to be measured for the device and the variables to be considered to characterize the athletes participating in the experiment are established. With the variables defined, the process of design, implementation and improvement of the system begins. The detection of the bar in the sagittal plane was carried out by means of the Hough transform for detection of circles, in addition, the calibration of the camera was implemented by the Zhang method and other transformations to the images. To classify the trajectories, the standard deviation of the difference between the athlete's trajectory and the reference trajectory was calculated. There was the participation of 19 athletes from the Cauca weightlifting league where 3 lifts were recorded for each athlete. The characterization of the population shows that the majority of respondents are between 13 and 24 years of age. 57.9% of those surveyed have up to 24 months of experience in sports,

As a result, it was possible to obtain that the majority of the respondents registered a type C trajectory, however, the standard deviation of the difference between the trajectory registered by the athlete and the reference trajectory must be taken into account since, if the value is great, there may be opportunities for improvement. Regarding the

validation of the developed system, a good acceptance of the system was obtained by the participants.

Keywords: weightlifting, snatch technique, sports injuries, image processing, barbell trajectories

Tabla de Contenidos

1.	Capítulo I: Introducción	1
1.1.	Planteamiento, descripción y formulación del problema	1
1.2.	Justificación	3
1.3.	Objetivos.	4
1.3.1.	Objetivo General.	4
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	4
2.	Capítulo 2: Marco de Referencia.....	5
2.1.	Marco Teórico.....	5
2.1.1.	Movimiento de arranque en halterofilia:	5
2.1.2.	Trayectorias de la barra	11
2.1.3.	Lesiones deportivas en halterofilia	14
2.1.4.	Sistemas Ópticos.....	15
2.1.5.	Detección de círculos por medio Transformada de Hough.....	16
2.1.6.	Procesamiento de imágenes, Transformaciones morfológicas.....	18
2.1.7.	Interpolación Polinómica Lineal.....	19
2.1.8.	Software de Creación/Edición de Video FFMPEG	19
2.1.9.	Calibración de cámaras por el método de Zhang.....	20
2.2.	Marco Legal.....	21
2.2.1.	Categorías de competición.	21
2.2.2.	Regulación de Video Playback Technology (VPT)	22
2.3.	Estado del arte	23
2.3.1.	Usos de dispositivos para captura de movimiento.....	23
2.3.2.	Dispositivos de captura de movimiento para halterófilos	24
3.	Capítulo 3: Métodos e implementos	25
3.1.	Procedimiento Para Establecer Parámetros:	26
3.2.	Procedimiento para el diseño y simulación del sistema:	27
3.3.	Proceso de Implementación del sistema.....	28
3.4.	Proceso para obtener la Versión final.	29
3.5.	Proceso Aplicar encuesta y recolección de datos	30
3.6.	Proceso de análisis de resultados	32
4.	Capítulo 4: Resultados	33
4.1.	Parametrización de trayectorias, movimientos y variables.....	33
4.1.1.	Caracterización de los practicantes	33
4.1.2.	Selección de variables a medir por el dispositivo.	34
4.2.	Diseño y simulación del sistema	36
4.3.	Implementar prototipo.....	40
4.4.	Versión final del sistema.	2
5.	Capítulo 5 Análisis de resultados	18
5.1.	Caracterización de los participantes	18
5.2.	Resultados del sistema.....	18
6.	Capítulo 6: Conclusiones.....	23
7.	Recomendaciones y trabajos futuros.....	25
8.	Referencias	26
9.	Anéxos	30

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Prevalencia de lesiones deportivas en la literatura</i>	14
Tabla 2 <i>Categorías de competencia IWF</i>	21
Tabla 3 <i>Factores relacionados a las lesiones en la práctica de halterofilia</i>	33
Tabla 4 <i>Variables para validación del dispositivo y caracterización de los encuestados</i>	35
Tabla 5 <i>Obtención De Las Trayectorias De Referencia</i>	13
Tabla 6 <i>Diferencia Promedio Entre Las Trayectorias De Referencia</i>	17
Tabla 7 <i>Descripción De Los Encuestados</i>	18
Tabla 8 <i>Clasificación De Las Trayectorias De La Liga Según El Software</i>	18
Tabla 9 <i>Calificación Obtenida Del Sistema (De 1 A 10)</i>	22

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Etapas en el movimiento de arranque</i>	5
Figura 2	<i>Trayectoria de la barra trazada en el plano sagital</i>	12
Figura 3	<i>Grafica de las trayectorias tipo A, B y C</i>	12
Figura 4	<i>Visualización del recorrido de la matriz de acumuladores</i>	17
Figura 5	<i>Transformación de apertura, primero erosión luego dilatación</i>	19
Figura 6	<i>Patrón de Cuadrados (Ajedrez) y círculos</i>	20
Figura 7	<i>Metodología de diseño V-shape</i>	25
Figura 8	<i>Metodología implementada</i>	26
Figura 9	<i>Posición de la cámara y espacio de trabajo</i>	31
Figura 10	<i>Costo en potencia y torque de las trayectorias definidas</i>	34
Figura 11	<i>“Mockups” del diseño de la aplicación y diagramas de conexiones</i>	37
Figura 12	<i>Estructura de archivos Resumida</i>	39
Figura 13	<i>Primer diseño de la interfaz de usuario</i>	40
Figura 14	<i>Abrir cámara</i>	42
Figura 15	<i>Obtención de la trayectoria</i>	43
Figura 16	<i>Función principal</i>	44
Figura 17	<i>Diagrama de clases, funciones y paquetes</i>	45
Figura 18	<i>Falsas detecciones debido a falta de región de interés</i>	1
Figura 19	<i>Gráfico Del Fuljo Del Programa</i>	3
Figura 20	<i>Diagrama De Clases, Funciones Y Paquetes</i>	4
Figura 21	<i>Continuación Diagrama De Clases Funciones Y Paquetes</i>	5
Figura 22	<i>Menú Principal De La Aplicación</i>	6
Figura 23	<i>Pantalla De Grabar Y Abrir Cámara</i>	7
Figura 24	<i>Calibración De La Cámara Por El Método De Zhang</i>	8
Figura 25	<i>Pantalla Del Reproductor De Videos</i>	9
Figura 26	<i>Operación Rotar Y Cortar</i>	10
Figura 27	<i>Región De Corte De La Imagen Luego De Ser Rotada</i>	10
Figura 28	<i>Pantallas Del Programa</i>	11
Figura 29	<i>Archivos Generados</i>	12
Figura 31	<i>Clasificador De Trayectorias</i>	15
Figura 32	<i>Trayectoria Clasificada Como C</i>	16
Figura 33	<i>Distancias Promedio Entre Trayectorias De Referencia</i>	17
Figura 34	<i>Trayectoria Clasificada Como A Por El Sistema</i>	19
Figura 35	<i>Trayectoria Clasificada Como B Por El Sistema</i>	20
Figura 36	<i>Trayectoria Clasificada Como C Por El Sistema</i>	20
Figura 37	<i>Valor Elevado De Desviación Estándar En Trayectoria C</i>	21

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Ecuación de un Círculo. (Yuen et al., 1990).....	17
Ecuación 2: Fórmula interpolación lineal (Tarazona & Vega, s/f)	19

Capítulo I: Introducción

1.1. Planteamiento, descripción y formulación del problema

La halterofilia es un deporte que consiste en conseguir el levantamiento de una barra desde el suelo hasta encima de la cabeza a la máxima velocidad y con el máximo peso, donde se involucra principalmente la fuerza máxima y la coordinación del sistema musculoesquelético. Existen dos técnicas de competición arranque y envión (Giraldo Valencia et al., 2021). Colombia es reconocida como una potencia en este deporte por las medallas olímpicas y panamericanas obtenidas, aunque durante la etapa de preparación o competencia, pueden aparecer lesiones deportivas debido al esfuerzo en los entrenamientos. (Velasquez, 2021)

Entre las lesiones más frecuentes en halterófila según Myer et al., (2009) se encuentran los esguinces y distensiones, entre los 16-25 años de edad, presentan factor de riesgo en la ejecución de la técnica con mayor frecuencia, esto es debido a que los pesistas en sus comienzos cometen más irregularidades en la técnica, porque están perfeccionando el gesto deportivo (Giraldo Valencia et al., 2021). Por lo anterior, se observa que halterófilos principiantes, son susceptibles a lesiones debidas a ejecución incorrecta de la técnica: Además, la falta de técnica es factor de riesgo para incurrir en una lesión de ligamentos. Hughes & Watkins, (2006) en un estudio hecho para caracterizar los factores de riesgo de lesión del ligamento anterior cruzado involucraban postura de un solo pie, movimiento enérgico de la rodilla en valgo con la rodilla cerca de la extensión completa acompañado de rotación externa o interna de la tibia. Como indican los autores Salazar et al., (2007) una mejora en la técnica de arranque

disminuiría el factor de riesgo de incurrir en una lesión de ligamentos en la rodilla. Diferentes estrategias se han desarrollado para poder mejorar el rendimiento de los deportistas, desde sensores de peso, inerciales, magnéticos hasta sistemas ópticos con énfasis en mejora de la técnica y caracterización de los movimientos de los deportistas.

Se conoce que la potencia disipada en las articulaciones que no se convierte en movimiento del sistema musculoesquelético, se convierte en un factor de riesgo para la aparición de lesiones en las articulaciones, y/o tendones, y/o ligamentos. Vorobiev (1978), define 3 tipos de trayectorias descritas por la barra durante la ejecución del movimiento de arranque (se explicarán a detalle más adelante), donde se establece una relación entre la potencia entregada por el sistema musculoesquelético y la trayectoria trazada.

El propósito de la investigación es estimar la efectividad de un sistema para la clasificación de la trayectoria de la barra en el plano sagital en halterofilia en modalidad arranque para mejorar la técnica de arranque en practicantes principiantes de halterofilia y así prevenir/disminuir el riesgo de adquirir lesiones en los ligamentos de la rodilla. El desarrollo de la investigación responde principalmente a: ¿Cuál es la efectividad de un sistema óptico sin marcas de bajo costo para la clasificación de trayectorias de la barra en el plano sagital en el movimiento de arranque en halterofilia para la mejora de la técnica?

1.2. Justificación

Es conveniente el desarrollo de la investigación, ya que permite establecer la relación entre el uso de sistemas para captura de movimientos ópticos y la técnica de arranque en halterofilia para prevenir posturas riesgosas para practicantes en modalidad arranque enfocado en la rodilla ya que como presenta Salazar et al., (2007) en tren inferior y tronco, se presentan mayor cantidad de lesiones. Respecto a la relevancia social, en el Cauca se encuentran pocos artículos relacionados a halterofilia (Villaquirán et al., 2016). Con el desarrollo de la investigación en la región, practicantes principiantes en la modalidad de arranque de halterofilia podrían mejorar su desempeño.

Como valor teórico, el foco principal de la investigación es identificar las trayectorias trazadas por la barra y prevenir el riesgo de lesiones en los ligamentos de la rodilla en deportistas. Es conocida la relación existente entre uso de dispositivos de captura de movimiento y la mejora del desempeño del deportista (Paay et al., 2019). La investigación puede reafirmar la correlación determinada por otros autores, además, es posible formular diferentes hipótesis al final de la investigación que continúen con el desarrollo de la temática tratada con diferentes enfoques. Como utilidad metodológica, en la investigación, se desarrolla una nueva herramienta para la recolección y análisis de datos. Además, pretende establecer la relación entre las variables de mejora de la técnica y prevención de incurrir en una lesión ligamentosa debido a malas posturas.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Desarrollar un sistema para la identificación y clasificación de la trayectoria trazada por la barra en la técnica de arranque en deportistas de halterofilia que ayude a la mejora de la técnica de arranque y contribuya a la prevención de lesiones de ligamentos de rodilla.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Parametrizar trayectorias, movimientos y variables implicadas en la modalidad arranque de halterofilia.
2. Implementar un sistema de seguimiento de trayectorias en deportistas practicantes de halterofilia.
3. Evaluar el desempeño del sistema mediante la obtención y clasificación de la trayectoria en el plano sagital de la barra en el movimiento de arranque.

Capítulo 2: Marco de Referencia.

2.1. Marco Teórico

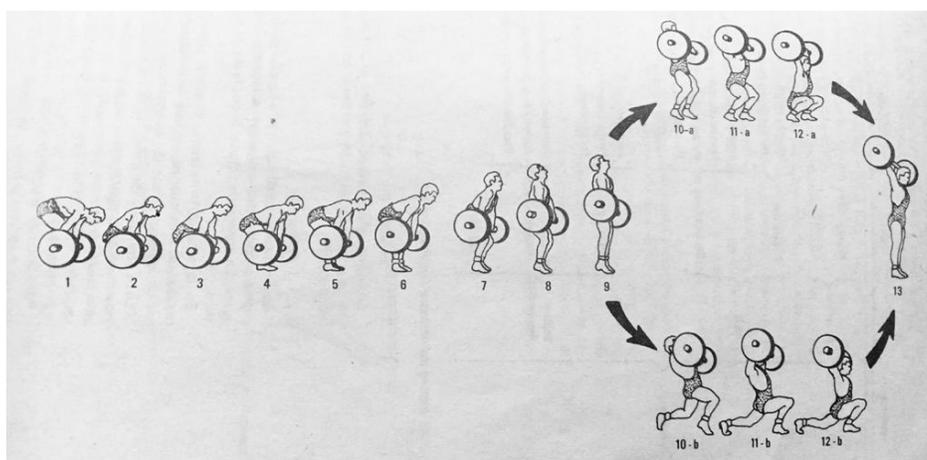
Colombia ha participado en halterofilia en los Juegos Olímpicos desde 1956 en categoría masculina y desde 1989 en categoría femenina. Desde entonces ha habido una gran representación de este deporte a nivel nacional e internacional (Giraldo Valencia et al., 2021). “Para el estudio de la modalidad de arranque, tanto Gourgoulis et al. (2000), como Klaus E. Bartonletz (1996) dividen la parte principal del movimiento en seis fases: Primer halón, Transición del primer al segundo halón; segundo halón, desliz (entrada bajo la barra), captura y recuperación (Alvarez Hinojosa & Nuñez Othón, 2014).

2.1.1. *Movimiento de arranque en halterofilia:*

En la Figura 1, se encuentran enumerados los pasos de la técnica de arranque los cuales serán descritos paso a paso

Figura 1

Etapas en el movimiento de arranque



Nota. Se presentan las etapas de la técnica de arranque con las 2 variantes en la recepción de la barra. Tomada de Pérez Orozco (2020)

A. Arrancada o Posición inicial

En la Figura1 corresponde desde el número 1 al 3. El arranque consiste en adoptar la posición inicial y prepararse para comenzar a levantar la barra. El levantador de pesas realiza varios tipos de movimientos preliminares que dan inicio a la posición estática; Su objetivo es tratar de aplicar más potencia al arranque rompiendo la inercia, comenzando a transmitir la energía acumulada a la barra (Castro Molina, 2005). Para adoptar la posición inicial en el arranque, el levantador de pesas coloca los pies debajo de la barra de modo que su proyección vertical atraviese la articulación metatarsofalángica del dedo gordo del pie. Los pies se colocan separados aproximadamente al ancho de las caderas, con rotación externa natural. Esta posición es la más ventajosa para aprovechar la fuerza de las piernas durante el levantamiento de la barra. Después de haber colocado los pies, se flexionan las piernas y el tronco hasta que las manos hacen contacto con la barra. La magnitud de esta flexión depende de las características individuales de cada levantador de pesas. Las rodillas deben estar dirigidas hacia fuera y el tronco hiperextendido, esta hiperextensión garantiza la mayor transmisión de la fuerza de las piernas y el tronco a la barra. La cabeza debe estar ligeramente flexionada hacia atrás lo que, por acción refleja, eleva el tono muscular de los extensores del tronco y reduce el tono de los flexores de los brazos, lo que contribuye a evitar una incorporación anticipada de estos últimos durante las primeras fases del levantamiento (Pérez Orozco, 2020).

En el arranque se emplea el agarre ancho, que asegura un recorrido más corto de la barra durante el levantamiento. Es particularmente importante que esta disminución del recorrido se logre a partir de una menor participación de los músculos de los brazos, los

cuales son eslabones débiles en la cadena biomecánica que se crea en este ejercicio. La sujeción de gancho, descrita por Silva Tumailli & Loaiza Dávila, (2017) como “la toma de la barra con las manos en pronación colocando el pulgar por debajo de los demás dedos” es la más utilizada en el arranque por ser la que permite un aprovechamiento más completo de la fuerza de los grandes planos musculares que intervienen en el levantamiento de la barra. Esta es después de la sujeción de correas de halar, la más firme y contribuye a evitar la acción anticipada de los brazos durante el levantamiento”, (Pérez Orozco, 2020).

B. Halón

“El halón es la parte más importante del arranque, consiste en levantar la barra a una altura suficiente y con la velocidad requerida para que el atleta complete posteriormente el deslizamiento.” (Castro Molina, 2005).

a. Primer Halón

En la Figura 1 va desde el número 4 hasta el 6. El primer halón consiste en iniciar el movimiento de la barra desde el suelo. Aunque la espalda se mantiene neutra, la extensión predominantemente en la rodilla y, en menor medida, en la cadera contribuye a vencer la inercia de la barra. Esta fase se completa cuando la barra llega al nivel de la rodilla. (L. K. Ho et al., 2014). Su objetivo fundamental es acercar la barra a la posición que permita aprovechar al máximo las posibilidades de fuerza del levantador de pesas en la siguiente fase, que es la más importante (Castro Molina, 2005). Comienza con la extensión de la rodilla generando un desplazamiento de la cadera hacia la cabeza, mientras que la cintura escapular avanza y la cabeza sin sobrepasar la velocidad de la

cadera. El apoyo de los pies está sobre toda la planta y los brazos están extendidos en los codos y presionando la barra hacia el cuerpo (Roca Peña, 2018) la extensión de las rodillas continúa hasta llegar a unos 150° , lo que genera un desplazamiento anterior de la cintura escapular frente a la palanqueta, (Pérez Orozco, 2020). Esta etapa termina hasta antes de llegar a las rodillas más o menos a un tercio de la tibia llegando a la rodilla o en la parte baja de la rodilla.

b. Transición

En la figura se representa desde el número 7 hasta el 8. La fase de transición comienza con el cambio de la extensión de la rodilla a la flexión en la posición de poder donde los hombros, las caderas y los talones están alineados, similar a la parte inferior de un salto con contra movimiento con la barra alcanzando la altura de la cadera, lo cual es necesario para desarrollar fuerza vertical a través de las piernas en el segundo halón (L. K. Ho et al., 2014). Esta etapa empieza desde la barra estando por encima de la rótula, pero por debajo del muslo y termina llegando a las caderas.

C. Segundo Halón

En la figura se representa con el número 9. Empieza desde llegar la barra al vientre y termina estirándose completamente, el movimiento se continúa desde el nivel anterior, con la activación de la cadena posterior se desencadenará la extensión de tronco y rodillas, mientras el atleta se eleva sobre la punta de los pies, la cintura escapular se desplaza hacia la cabeza, ya que se busca la mayor elevación de la barra (Castro Molina, 2005). Debe ser realizado con la extensión explosiva de las piernas y el tronco en dirección vertical, transmitiendo una gran aceleración a la barra evitando el

desplazamiento hacia atrás ya que se reduce la fuerza da como resultado la posición con las articulaciones de las extremidades inferiores, alcanzando la extensión completa y generando y transfiriendo energía a la barra. En el último momento de la segunda fase del tirón se incorpora la fuerza de los brazos, flexionando los codos, estirando, se elevan los hombros hacia arriba, y la actividad dinámica de las manos, alcanzando la máxima aceleración.” (Pérez Orozco, 2020), (L. K. Ho et al., 2014), (Roca Peña, 2018).

“El tiempo total de ejecución del halón es aproximadamente de 0,8 a 1,0 s, y se emplean entre 70% y 80% de este tiempo en la primera fase y el resto en la segunda” (Castro Molina, 2005). El halón finaliza con el completo enderezamiento del tronco, que se logra con el movimiento de las piernas (Pérez Orozco, 2020).

D. Desliz o Entrada

a. Desliz o Cambio de posición debajo de la barra

En la Figura 1 se encuentra desde el número 10 hasta el 12. Se genera después de alcanzar la altura máxima en el segundo halón, después de completar esta fase el atleta debe frenar el movimiento ascendente desplazándose hacia abajo e influenciado por la gravedad y el trabajo activo de brazos. “Mientras más rápido el atleta frene su movimiento ascendente, mayor será la fuerza aplicada sobre la barra al momento de la detención de éste” (Castro Molina, 2005). Existen dos tipos de desliz: en cuchilla, y en tijera, actualmente se usa el desliz en cuchilla ya que permite completar la extensión de los codos con una menor elevación de la palanqueta, pero con la desventaja de una inestabilidad antero-posterior. Por tal motivo se describirá solamente el desliz en cuchilla. En la Figura 1, se representa como las imágenes desde la 10-a hasta la 12-a. Para

realizar el deslizamiento en cuchilla, el atleta separa brevemente los pies de la plataforma, conocido como deslizamiento sin apoyo, y mueve los pies hacia los lados mientras comienza a flexionar las piernas mientras mantiene el tronco vertical. Como resultado, la barra se desvía ligeramente hacia atrás. El tiempo sin apoyo durante el deslizamiento debe ser mínimo, los brazos actúan con toda su fuerza contra la barra, ayudando a levantarla. La rapidez en el desliz no solo disminuye el tiempo sin apoyo, sino que contribuye a aumentar la fuerza que se transmite a la barra, aumentando la velocidad del movimiento ascendente. El trabajo de los brazos ayuda a controlar la dirección del movimiento que realiza el atleta durante el desliz. Después de que los pies restablezcan el contacto con la plataforma y la cintura escapular esté debajo de la barra, se continúa con el trabajo de brazos hasta que están completamente extendidos, dejando las piernas en una posición de sentadilla profunda. En la posición final de sentadilla del desliz, las piernas están separadas lateralmente al ancho de las caderas, completamente flexionadas y con una ligera rotación externa en las rodillas y los pies. El tronco se mantiene hiperextendido, con una pequeña inclinación al frente. Los brazos coinciden con la prolongación vertical de la barra (Castro Molina, 2005).

b. Atrapada

En la Figura 1 se puede representar con la etapa 12. Como mencionan L. K. Ho et al., (2014) La posición de captura implica mantener los brazos extendidos y el levantador realizar una sentadilla profunda con la barra por encima de la cabeza. El peso descansa sobre los brazos extendidos antes de levantarse de la sentadilla en la fase de recuperación, además Pérez Orozco, (2020) menciona que el atleta y la palanqueta

deben estar en la misma línea vertical, los pies alineados entre sí y una separación cómoda. En este momento el peso de la barra se controla con los músculos de la espalda, los hombros y las piernas, que están tensionados al máximo. (Roca Peña, 2018).

E. Recuperación

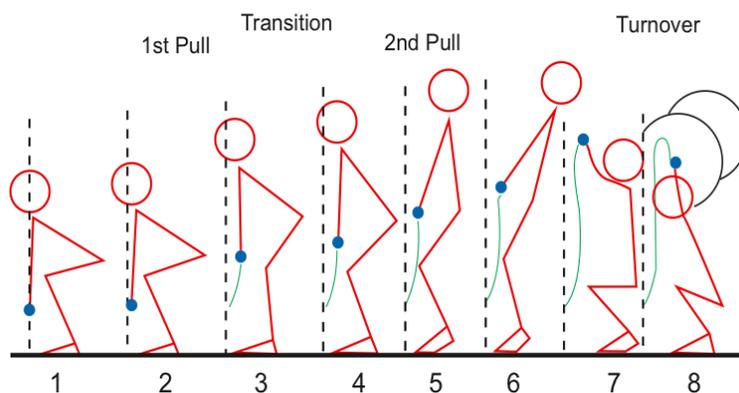
En la Figura 1 se representa con el número 13. Empieza cuando el atleta se encuentra con la palanqueta sobre su cabeza, en sentadilla profunda. Como describe Llerena Navarrete et al., (2022) desde esta posición el atleta puede aprovechar la fuerza elástica de las extremidades inferiores o rebote para incorporarse en dirección estrictamente vertical hasta su máxima altura hacia la fijación, ya que la menor desviación puede causar la pérdida de la estabilidad e incluso la caída de la barra, así que la tensión de los músculos de las piernas y espalda deben ser máximas (Roca Peña, 2018). Finalmente se estiran las piernas adelantando la cadera (fase de recuperación), para terminar el movimiento completamente erguido con la barra sobre la cabeza (Silva Tumailli & Loaiza Dávila, 2017).“Resumiéndolo en: Extensión de las rodillas y cadera” (Pérez Orozco, 2020).

2.1.2. Trayectorias de la barra

En la Figura 1, se muestra cómo se traza la trayectoria de la barra en el plano sagital durante cada fase del movimiento de arranque.

Figura 2

Trayectoria de la barra trazada en el plano sagital

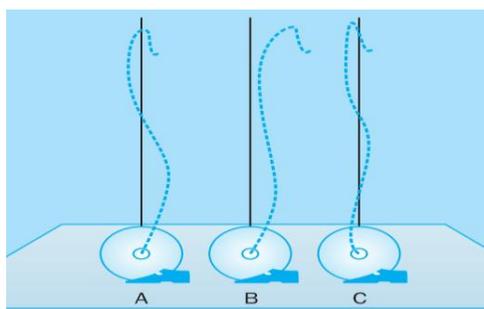


Nota. Tomado de Barrero Malagón, (2018)

La Figura 3, presenta los 3 tipos de trayectorias “A”, “B” y “C” trazadas por la barra en el plano sagital¹ durante la ejecución de los movimientos Vorobiev (1978). Las cuales se van a describir más adelante

Figura 3

Grafica de las trayectorias tipo A, B y C



Nota. Tomada de Campos Granell & Rabadé Espinosa, (2009)

¹ Los planos sagitales son en anatomía aquellos planos, perpendiculares al suelo y en ángulo recto con los planos frontales, que dividen al cuerpo en mitades izquierda y derecha (Mendoza, 2019).

A. Trayectoria tipo A

La palanqueta se mueve inicialmente hacia el atleta durante el primer halón y se aleja del atleta en el segundo halón, durante esta fracción, la palanqueta intercepta la línea imaginaria vertical que se puede trazar desde el punto de inicio del halón. La recepción de la palanqueta en la entrada se hace con un movimiento hacia el levantador y, detrás pero cercano a la línea imaginaria. (Zissu Boldur et al., 2011)

B. Trayectoria tipo B

En el inicio y durante el primer halón, la palanqueta se mueve hacia el levantador. Durante el segundo halón la palanqueta se mueve ligeramente hacia delante, alejándose del atleta, pero en menor medida que en la trayectoria A, sin pasar la línea vertical imaginaria del punto de inicio. Al final del segundo halón y la entrada (desliz), la palanqueta se mueve nuevamente hacia el levantador y la recepción se hace a una distancia horizontal mayor que en el caso de la trayectoria A. En la trayectoria B, la palanqueta nunca intercepta la línea imaginaria vertical desde el punto de inicio del halón. (Játiva et al., 2021)

C. Trayectoria tipo C

En el inicio del primer halón, la palanqueta se aleja ligeramente del atleta, luego se dirige hacia el atleta interceptando la línea vertical imaginaria de referencia. Durante la segunda parte del halón la palanqueta se aleja nuevamente del atleta, al igual que en las trayectorias "A" y "B". La recepción se realiza frente a la línea vertical imaginaria de referencia debido al movimiento hacia delante en el principio del primer halón. (Silva Tumailli & Loaiza Dávila, 2017)

2.1.3. Lesiones deportivas en halterofilia

Las lesiones que se evidencian en halterofilia son producidas por diferentes factores como la enseñanza del levantamiento de pesas, donde no solo se debe de tener en cuenta la fuerza, sino que también se debe contar con la ejecución de una excelente técnica para alcanzar un nivel mínimo de competencia, por lo que cuando se está aprendiendo la técnica hay un mayor riesgo de generar lesión (Giraldo Valencia et al., 2021). Cabe señalar que la mayoría de las lesiones ocurren por la mala ejecución de la técnica y el exceso de peso que se pretende levantar, sumado a no tener una adecuada supervisión o educación adecuada en las técnicas de entrenamiento de fuerza, o por tomar malos hábitos en el desarrollo de esta. (Giraldo Valencia et al., 2021).

El autor Giraldo Valencia et al. (2021) resume en un cuadro (Tabla 1) las articulaciones y estructuras más lesionadas según presentan diferentes autores en la literatura respecto a la práctica de halterofilia. Las lesiones que se evidencian en el deporte de halterofilia son resultado de diferentes factores tales como: la enseñanza del levantamiento de pesas, técnica deportiva, exceso de trabajo y sobreentrenamiento principalmente.

Tabla 1

Prevalencia de lesiones deportivas en la literatura.

Estructura o articulación	Porcentaje	Referencia
Rodilla	45.5%	Osorio et al., 2007
Tobillo	9.8%	
Hombro	7.7%	
Tejidos blandos	30.4%	Bedoya, J., Hernández, M., Montoya, J., Vélez, J. & Marino, F., 2015
Articulaciones	26.5%	
Rodilla	26%	Villaquirán, Portilla & Vernaza, 2016
Tobillo	16%	
Muslo	12.6%	

Hombro	7%	Engebretsen, et al., 2013
Codo		
Rodilla		
Rodilla	24.82%	Escorcia, 2015
Tobillo	21.72%	
Pierna	11.03%	
Hombro	8.62%	
Músculos	5%	Soligard et al., 2017
Ligamentos		
Tendones		

Nota. Tomada de (Giraldo Valencia et al., 2021)

2.1.4. Sistemas Ópticos.

Existen varios sistemas de captura de movimiento, cada uno de ellos utiliza diferentes tecnologías que deben seleccionarse cuidadosamente según el proyecto en el que se apliquen (Horna López & Tarís Ramos, 2012). En los principales sistemas se encuentran: inercial, se utilizan filtros complementarios en combinación a otros sistemas para entregar trayectorias, aceleraciones y rotaciones; mecánico, se viste una estructura de piezas metálicas, guantes, brazos mecánicos y modelos articulados como un exoesqueleto básico con sensores siguiendo la estructura los movimientos del sujeto, magnético; se ponen receptores magnéticos en las articulaciones de los actores midiendo la intensidad del campo y calculando la distancia, enviando la señal a una antena que debe estar conectada al equipo, ópticos; existen de marcas activas o pasivas los cuales se ponen el cuerpo del sujeto sin marcas (Ribeiro & Horn Vieira, 2016). Debido al tipo de deporte, las condiciones en la que este se desarrolla y por los criterios que más adelante se expondrán, para el desarrollo del sistema se ha optado personalmente por los sistemas ópticos por lo que se ahondará en este tipo de sistemas (Robert-Lachaine et al., 2020).

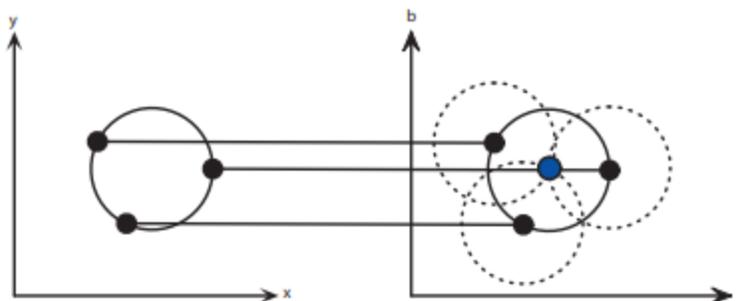
En los sistemas ópticos con marcas activas, las marcas son representadas por diodos led que se adhieren al cuerpo, algunos sistemas cuentan con leds intermitentes que funcionan a diferentes frecuencias y permiten identificar las marcas de manera más eficiente, sin embargo, este tipo de tecnología requiere de cámaras más rápidas y eficientes con mayor resolución resultando muy costoso (Horna López & Tarís Ramos, 2012). “Los sistemas sin marcas tienen programados patrones de imagen o hacen uso de algún algoritmo que ayude a reconocer cada una de las marcas, este tipo de sistema requiere un alto costo computacional y un sofisticado sistema de software.” (Horna López & Tarís Ramos, 2012).

2.1.5. Detección de círculos por medio Transformada de Hough.

El método de TH (transformada de Hough) de análisis de formas utiliza una ecuación que representa una forma geométrica, usa la detección de bordes generando en cada uno de los puntos una función, se acumulan votos para todas las combinaciones de parámetros que satisfacen la restricción. Los votos se recogen en una matriz de contadores que se llama matriz de acumuladores como se puede observar en la Figura 4 (Pedersen Kjeldgaard, 2007).

Figura 4

Visualización del recorrido de la matriz de acumuladores.



Nota. Tomada de Pedersen Kjeldgaard (2007)

Los puntos de borde de una sola instancia de una forma votan coherentemente en el contador del acumulador que está más cerca de los parámetros de la forma. Al final del proceso de votación o acumulación, los elementos de la matriz que contienen un gran número de votos indican una fuerte evidencia de la presencia de la forma con los parámetros correspondientes. Las formas se detectan mediante algún método para identificar picos en la matriz del acumulador. En el caso de los círculos, si un círculo está parametrizado por sus coordenadas centrales (a, b) y su radio r , entonces estos están relacionados con la posición de los puntos de borde (x, y) , que forman el círculo a través de la restricción (Pedersen Kjeldgaard, 2007):

Ecuación 1 Ecuación de un Círculo. (Yuen et al., 1990)

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

La Ecuación 1 también indica que cualquier punto de borde dado (x_i, y_i) podría ser un punto en cualquier círculo cuyos parámetros se encuentran en la superficie de un cono circular recto en el (a, b, r) espacio de parámetros. Si los conos corresponden a

muchos puntos de borde que se cruzan en un solo punto, luego todos los puntos de la imagen se encuentran en el círculo definido por esos tres parámetros (Yuen et al., 1990).

2.1.6 Procesamiento de imágenes, Transformaciones morfológicas

Toda operación morfológica es el resultado de una o más operaciones de conjuntos (unión, intersección, complementación...) (Ortiz Zamora, 2002). A continuación, se explicarán algunas de estas transformaciones (ver Figura 5):

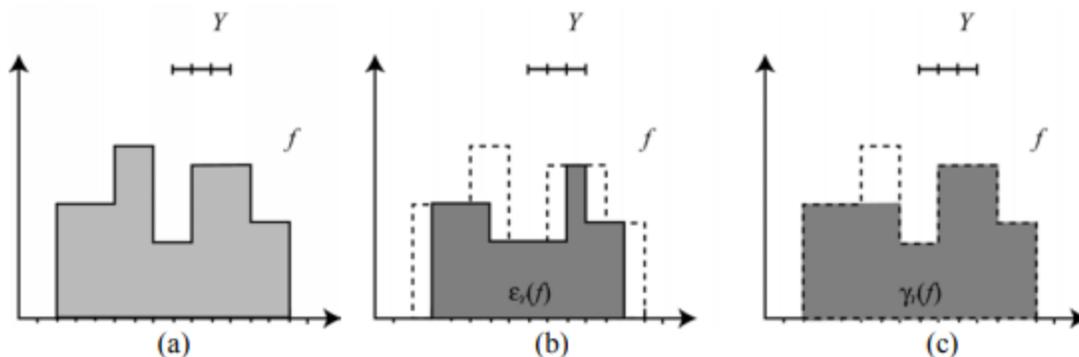
Erosión: El resultado es una señal de menor valor, es decir, una imagen más oscura, puesto que la erosión pretende minimizar el valor de la señal que, en el caso de los grises tiene una definición (Ortiz Zamora, 2002).

Dilatación: Es el máximo valor de la imagen en la ventana de vecindad definida por el elemento. El resultado de la dilatación en señales es, generalmente, una señal de mayor valor, es decir, una imagen más clara, puesto que la dilatación maximiza el valor de la señal (Ortiz Zamora, 2002).

Apertura: La apertura de una señal consta de 2 transformaciones: erosión seguida por la dilatación por el mismo elemento estructurante. El efecto de la operación de apertura es la desaparición de estructuras de menor tamaño al elemento estructurante. La apertura redondea las convexidades importantes. La erosión elimina los elementos menores en tamaño al elemento estructurante (Ortiz Zamora, 2002).

Figura 5

Transformación de apertura, primero erosión luego dilatación.



Nota. Tomada de Ortiz Zamora (2002)

2.1.7 Interpolación Polinómica Lineal

La interpolación lineal es un método donde con 2 puntos dados en A_{n-1} , y en A_n por ejemplo: $A_0 = (x_0, y_0)$ y $A_1 = (x_1, y_1)$, se crea una función interpolante la cual es una línea recta entre los dos puntos. Para cualquier punto entre los dos valores de A_0 y A_1 se debe seguir la ecuación de la línea que se puede derivar geoméricamente. En lo anterior, el único valor desconocido es y , que representa el valor desconocido para x (Tarazona & Vega, s/f)

Ecuación 2: Fórmula interpolación lineal (Tarazona & Vega, s/f)

$$y = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) + y_0$$

2.1.8. Software de Creación/Edición de Video FFmpeg

FFmpeg es una solución completa y multiplataforma para grabar, convertir y transmitir audio y video. FFmpeg es software libre licenciado bajo la LGPL o GPL dependiendo de su elección de opciones de configuración. FFmpeg está desarrollado

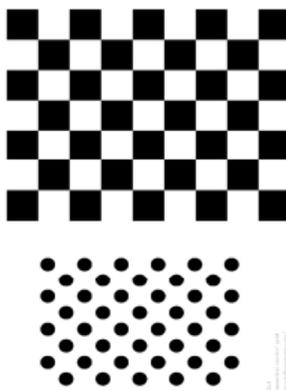
bajo Linux, pero se puede compilar en la mayoría de los sistemas operativos, incluido Windows. FFmpeg es compatible con más de diez protocolos de transferencia, y también es compatible con más de cuarenta formatos de audio y más de noventa formatos de video. La alta capacidad de codificación / decodificación lo hace ampliamente utilizado en el área multimedia (Snoswell, 2017).

2.1.9. Calibración de cámaras por el método de Zhang

“Este método se basa en un patrón plano, el cual puede ser tipo tablero de ajedrez o círculos (ver Figura 6). El algoritmo utiliza los puntos de las esquinas extraídos del patrón o los centros del tablero de círculos para calcular una transformación proyectiva entre los puntos de las N imágenes diferentes. Posteriormente los parámetros intrínsecos y extrínsecos se recuperan con la ayuda de un algoritmo cerrado, mientras la distorsión se modela con la ayuda de mínimos cuadrados lineales, y por último una minimización no lineal del error, que optimiza todos los parámetros obtenidos” (Colombia et al., 2014).

Figura 6

Patrón de Cuadros (Ajedrez) y círculos



Nota. Tomado de (Colombia et al., 2014)

2.2 Marco Legal.

2.2.1. Categorías de competición.

(Giraldo Valencia et al., 2021) “a nivel nacional, la Ley 181 de 1995 establece todas las disposiciones a nivel deportivo, recreativo, aprovechamiento del tiempo libre y la educación física. En 2011, “La *International Weightlifting Federation* (IWF, 2020) ejecuta modificaciones del manual de la Reglas y Regulaciones Técnicas y de Competencia (TCRR) y en los cambios aprobados a partir del 01 de enero 2020 se establecen diez categorías de peso, según la edad y el sexo. En primer lugar, la IWF reconoce 4 grupos de edades; *youth*, 13 - 17 años; *junior*, 15 - 20 años; *senior*, 15+ años; *masters*, 35+ años”.

“Según esos grupos de edades, la IWF establece las siguientes categorías según el peso corporal de los deportistas” (Giraldo Valencia et al., 2021):

Tabla 2

Categorías de competencia IWF.

Hombres Senior y Junior	Mujeres Senior y Junior	Hombres Youth	Mujeres Youth
55 kg	45 kg	49 kg	40 kg
61 kg	49 kg	55 kg	45 kg
67 kg	55kg	61 kg	49 kg
73 kg	59 kg	67 kg	55 kg
81 kg	64 kg	73 kg	59 kg
89 kg	71 kg	81 kg	64 kg
96 kg	76 kg	89 kg	71 kg
102 kg	81 kg	96 kg	76 kg
109 kg	87 kg	102 kg	81 kg
+109 kg	+87 kg	+102 kg	+81 kg
Juegos Olímpicos Hombres	Juegos Olímpicos Mujeres	Juegos Olímpicos Hombres Youth	Juegos Olímpicos Hombres Youth
61 kg	49 kg	55 kg	45 kg
67 kg	55 kg	61 kg	49 kg

73 kg	59 kg	67 kg	55 kg
81 kg	64 kg	73 kg	59 kg
96 kg	76 kg	81 kg	64 kg
109 kg	87 kg	+81 kg	+64 kg
+109 kg	+87 kg	-	-

Nota. Tomada de (Giraldo Valencia et al., 2021)

2.2.2. Regulación de Video Playback Technology (VPT)

VPT es la tecnología para revisar la decisión de los árbitros / jurado si es impugnada en caso de desacuerdo dentro del jurado. En los Campeonatos Mundiales Senior, Junior y Juvenil, Juegos Olímpicos y Olímpicos de la Juventud es obligatorio aplicar VPT. (IWF, 2020)

Se requiere de mínimo cuatro (4) cámaras: las cámaras se colocarán alrededor del escenario, tres (3) cámaras en la parte delantera del escenario para estar lo más cerca posible de los 3 árbitros sentados, la 4ª cámara se colocará en el borde lateral del escenario en línea con el centro de la plataforma, pero no más lejos de la plataforma de competencia que cuatrocientos (400) cm (medidos desde el lado) de la plataforma. Tres (3) cámaras ubicadas frente al escenario deben colocarse a una altura de 30 cm por encima de la plataforma de competencia, y la cámara lateral debe estar a la altura de la plataforma de competencia. VPT utiliza una señal propia, sin embargo, debe estar conectada al marcador y / o "Videoboard" y Televisión / Transmisor para permitir que los espectadores y los televidentes vean la repetición. Cuando el Atleta o Equipo solicite un Reto, "Videoboard" y/o TV debe indicar "Reto". VPT debe servir para múltiples propósitos, incluidos los archivos de video para su uso posterior (por ejemplo, capacitación oficial técnica, análisis científico, seminarios / educación, etc.). (IWF, 2020).

2.3 Estado del arte

2.3.1. Usos de dispositivos para captura de movimiento

Salazar et al., (2007) desarrollaron un estudio para determinar los factores de riesgo posturales dinámicos y de la ejecución técnica, para lesiones osteomusculares de tronco y miembro inferior presentes en los levantadores de pesas participantes de los XVII Juegos Deportivos Nacionales con base en el análisis cinemático cualitativo del gesto deportivo de envión. Como herramienta para la recolección de datos, se usaron videos capturados de los deportistas que participaron en su experimento y para obtener información de estos, se usó la observación a los videos grabados.

Ho et al., (2011) describe un método de recopilación y análisis de datos para ayudar a la retroalimentación de entrenamiento para un individuo. Las variables incluyeron la velocidad máxima de la barra, los ángulos de las articulaciones de la pelvis, la cadera, la rodilla y el tobillo en la posición inicial para el lado derecho y la diferencia entre los lados. El dispositivo usado para la recolección de datos consistió en un arreglo de seis cámaras dispuestas alrededor del deportista grabando a quinientos FPS.

Voinea et al., 2017 relata que “el objetivo del modelo es ser utilizado en sesiones de rehabilitación médica y ayudar a los pacientes a evitar posturas incorrectas. Las simulaciones presentaron muy buenos resultados y demostraron que el modelo matemático se puede utilizar para estimar las coordenadas de los sensores, lo que conduce a una reconstrucción realista de la forma de la columna utilizando sensores inerciales”. Se hizo uso de siete sensores inerciales ubicados a lo largo de la columna.

2.3.2. Dispositivos de captura de movimiento para halterófilos

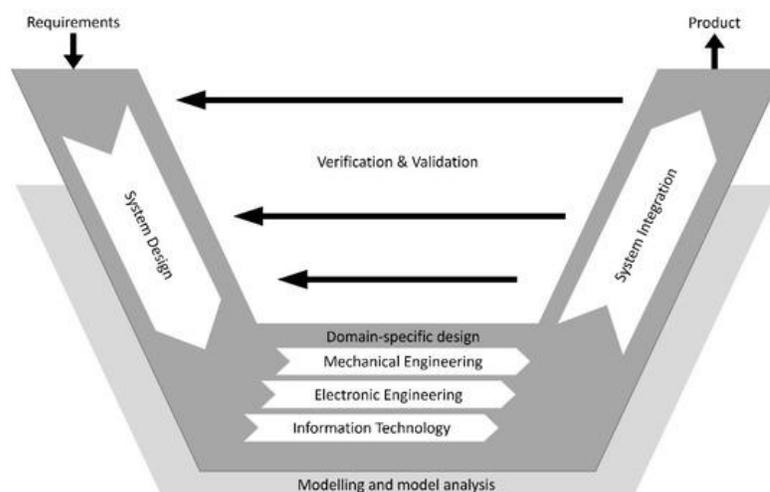
Chatzitofis et al., (2013) desarrollaron un dispositivo usando Kinect para capturar los movimientos del deportista, así como la trayectoria de la barra. La finalidad de este es adquirir los datos de velocidad, trayectoria e inclinación de la barra, así como del ángulo inicial de la rodilla y mostrar estos datos al usuario luego de ser capturados. La ventaja de uso de tecnología como Kinect, es la percepción de profundidad, esto permite obtener mayores datos con un solo dispositivo. Aun así, los cuadros máximos por segundo ofrecidos por Kinect son limitados a máximo treinta.

Bharatesh Chakravarth et al., 2019 afirman que “el trabajo propuesto reconstruye y visualiza el movimiento de levantamiento de pesas capturado en un modelo humanoide virtual y como una trayectoria en una esfera unitaria 3D de manera intuitiva para ayudar visualmente al usuario a seguir la postura y la técnica de levantamiento de pesas correcta”. Se hizo uso de ocho sensores inerciales ubicados en las extremidades para la captura de movimiento.

3. Capítulo 3: Métodos e implementos

Figura 7

Metodología de diseño V-shape



Nota. Se muestra el método de diseño V-shape Tomado y adaptado de: (Raicu et al., 2021)

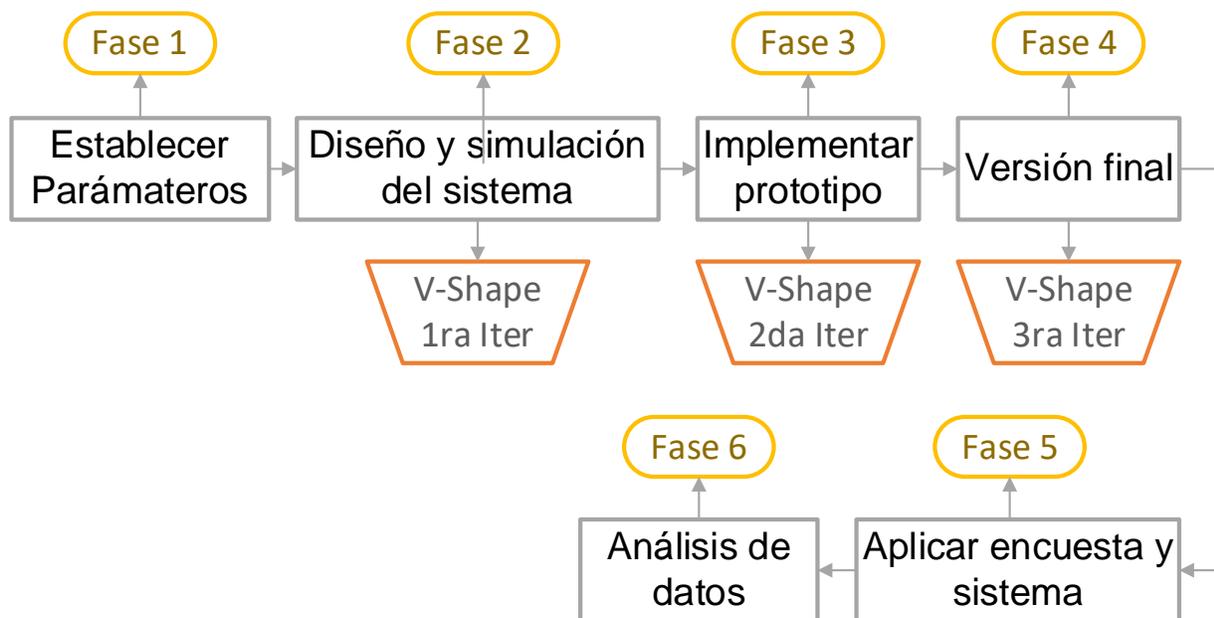
Para el desarrollo del sistema se hizo uso del modelo en “V” o en herradura (Gausemeier & Moehring, 2002) Este es un modelo para el desarrollo de sistemas que tengan una alta participación de varias disciplinas, el cual en base a unos requerimientos establecidos, se hace un análisis del sistema de forma holística identificando las diferentes disciplinas involucradas realizando un diseño del sistema en general, pasando luego a los subsistemas desarrollándolos por separado y de forma específica como módulos que se interconectan. Finalmente se realizan las pruebas específicas de cada área pasando a la validación de los subsistemas, terminando con la incorporación de los módulos resultando un producto final. También cabe mencionar que entre más

iteraciones se hagan sobre el sistema, de mayor robustez y calidad será el resultado/producto obtenido.

En la Figura 8 se observa de forma gráfica los métodos usados

Figura 8

Metodología implementada



Nota. Elaboración propia

3.1. Procedimiento Para Establecer Parámetros:

Para el desarrollo de esta fase, se hizo uso de las siguientes herramientas de recolección de datos: análisis documental y observaciones a la bibliografía relacionada a las lesiones, posturas incorrectas, captura de movimiento, observación documental. Se registraron algunas variables (las mencionadas en varias ocasiones por diferentes autores) que afectan la técnica del deportista en un cuadro donde se divide por intrínsecas al deportista y a los factores externos. Luego, de estos se escogieron las

variables que pueden ser controladas directa o indirectamente por una realimentación al usuario de la trayectoria trazada por sus levantamientos en el plano sagital. El sistema operativo usado fue Windows 10 debido a su robustez y el soporte existente, además, es el sistema operativo donde se encuentra mayor compatibilidad de programas.

Después de obtener las variables a poder realimentar y evaluar por parte de los usuarios del sistema, se crea la encuesta a presentar. Como herramientas usadas para la creación de la encuesta se tuvieron: “*Microsoft Forms*”, “*Microsoft Word*”. El primero fue usado para crear y recolectar la encuesta con las preguntas formuladas. Posteriormente se llevó a Word para ser impresa y presentarlas a los deportistas.

A continuación, se describirán las herramientas usadas para cada una de las 3 iteraciones hechas (Diseño y simulación, Implementación, versión final) en este modelo para la obtención del sistema. La primera consistió en el bosquejo del sistema, la segunda se presenta un producto funcional para realizar los últimos ajustes en la última iteración, versión final.

3.2. Procedimiento para el diseño y simulación del sistema:

De acuerdo a las variables que afectan la técnica, se establecieron los datos a ser obtenidos (la trayectoria de la barra en el plano sagital). Para la inspiración del desarrollo del programa, se hizo una búsqueda en el estado del arte para recibir un contexto de los sistemas más usados en la captura de la trayectoria. Luego como herramientas para hacer el bosquejo del sistema, se tuvo “*WireFrame pro*”, el cual es un aplicativo web que permite hacer el diseño de maquetas de aplicaciones tanto web como de escritorio para dispositivos desde computadores de mesa, así como teléfonos inteligentes. Para el

sensor óptico, se escogió la cámara web Logitech 920 ya que tiene un amplio ángulo de visión y permitir registrar video con resolución de 1080 píxeles a 30 cuadros por segundo. El cuál sería el mínimo para lograr un muestreo aceptable para la reconstrucción de la trayectoria (Varillas Marín, 2002)

Después de la maquetación del software y el hardware, con el uso de la herramienta “*Microsoft Visio*” se definió la estructura del sistema, es decir se crearon en diagramas UML los objetos, funciones y sistemas de almacenamiento de los datos. Entre los sistemas ópticos, se optó por el sistema sin marcas debido al bajo coste económico que este presenta en comparación de sus contrapartes con marcas. También se descartaron los sistemas inerciales ya que para la obtención de trayectorias se sugiere debido a la naturaleza de los sensores usados, complementar la señal con otro sensor.

3.3. Proceso de Implementación del sistema

Con los requerimientos especificados de las funciones requeridas, y la interfaz a desarrollar, se empezó a implementar el código bosquejado con las herramientas: “*Visual Studio Code (VSCode)*”; se destaca que este entorno de desarrollo permite la instalación de extensiones que facilitan la visualización y la programación, además tiene una gran comunidad, “*Python*”; como lenguaje de programación para implementar las funciones ya que se encontró de fácil aprendizaje e implementación y además tiene una gran comunidad que ofrece soporte a problemas, “*PyQt5*”, que es un “*framework*” nativo del lenguaje de programación C para el desarrollo de interfaces de usuario, pero adaptado a “*Python*”. Permitiendo una comunicación directa (sin necesidad de hacer uso de serializadores o conversores entre tipos de datos) entre la interfaz de usuario y las

funciones desarrolladas, “*Git*” & “*GitHub*”; como repositorio del código desarrollado porque permite un mayor control de los cambios realizados.

Durante el desarrollo de las funciones, se optó por hacer uso de “*Python-FFMPEG*” para las funciones de edición de video ya que permite realizar edición con pocas líneas de código y de forma rápida a comparación de otras herramientas de edición basadas en “*FFMPEG*”. Para el seguimiento de la barra en el plano sagital, se hizo uso de la transformada de Hough debido al poco coste computacional requerido en comparación al entrenamiento de una red neuronal que aprenda a identificar una barra. Para la entrega de los datos finales a el usuario, se usaron 2 formatos: “.json” y “.csv”. El primero se usa de forma interna para cargar los datos almacenados anteriormente por el usuario y modificarlos, el segundo para la entrega al usuario ya que permie ser abierto por programas como “*Microsoft Office*”, “*Liber Office*”, “*Google sheets*”, entre otros.

Para la creación de la interfaz de usuario, se usó “*PyDesigner*”, una herramienta gráfica para poder programar arrastrando y soltando los componentes en un lienzo. Esta herramienta viene junto a “*PyQt5*”

Se creó nuevas funciones, objetos y relaciones usando “*Microsoft Visio*” para poder visualizar los métodos y atributos que debían tener.

Se probó la obtención de la trayectoria con videos obtenidos de la página oficial de la IWF.

3.4. Proceso para obtener la Versión final.

Se hizo uso de de las mismas herramientas mencionadas anteriormente para la implementación del sistema. Para el clasificador automático de las trayectorias se calculó

la desviación estándar de la trayectoria trazada por el usuario con respecto a la trayectoria A, B y C definidas anteriormente. Con el uso de la herramienta “*PyInstaller*” se crea el ejecutable del aplicativo y con “*Setup Tools*” se crea el instalador y eliminador del programa final.

Luego, para la segunda iteración se realizaron pruebas con videos descargados de la página oficial de la IWF

3.5. Proceso Aplicar encuesta y recolección de datos

Se habló con el instructor de la liga del Cauca de levantamiento de pesas el cual autorizó y asignó a deportistas para realizar las pruebas de campo. Los criterios de selección fueron:

Criterios de inclusión:

- Deportistas con experiencia en halterofilia.
- Haber realizado previamente el ejercicio de arranque
- Tener más de 12 años y menos de 30 años

Criterios de exclusión:

- Atletas con lesiones activas
- Atletas no presentes en el momento de tomar la muestra.

Figura 9

Posición de la cámara y espacio de trabajo



Nota. Elaboración Propia

El universo de la investigación son los practicantes de halterofilia, la población consiste de 34 atletas, los integrantes de la Liga de halterofilia del Cauca y se tomó una muestra de 19 atletas, se seleccionaron de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión. Se clasificaron en 2 grupos: con experiencia y sin experiencia.

Antes de empezar los levantamientos, se reunió a los atletas para compartir con ellos las instrucciones al realizar los levantamientos y llenar las encuestas. Se les dijo el día de la prueba que levantarán un peso con el que se sintieran cómodos. Cada uno realizó 3 levantamientos teniendo en cuenta sólo los levantamientos exitosos. Los deportistas realizaron levantamientos con diferentes pesos, en general con 50Kg, 25Kg, y 10Kg. Por cada levantamiento, el deportista era llamado para recibir la retroalimentación por parte del software y analizar los resultados y datos suministrados por el software. En total, se analizaron 57 levantamientos en modalidad arranque

La cámara se posicionó a 2.75 metros de la base de levantamiento en un trípode que mantuvo la cámara a una distancia de 0.53 metros del suelo como se muestra en la Figura 9. Al finalizar los levantamientos, se aplicó una encuesta a cada uno de los participantes.

3.6. Proceso de análisis de resultados

Se hace uso de la desviación estándar, varianza y promedio de los datos obtenidos por el sistema desarrollado.

4. Capítulo 4: Resultados

4.1. Parametrización de trayectorias, movimientos y variables.

En la siguiente tabla se puede encontrar un breve resumen de algunos de los factores de riesgo que pueden incurrir en una lesión encontrados en la literatura.

Tabla 3

Factores relacionados a las lesiones en la práctica de halterofilia

1.1. Factores intrínsecos o internos relacionados con el atleta (Giraldo Valencia et al., 2021)	1.2. Factores extrínsecos o externos o directos relacionados con el ambiente, y que también pueden ser divididos en modificables y no modificables con respecto al deporte (Giraldo Valencia et al., 2021).
Edad	Factores nutricionales
Género	Tóxicos
Composición corporal (constitucionales: talla, peso, movilidad articular, etc)	Régimen de entrenamiento
Coordinación	Instalaciones
Estado de salud	Características de práctica o competición
Acondicionamiento físico	Factores ambientales
Factores hormonales	Equipos de protección en la práctica deportiva
Enfermedades metabólicas	Técnica deportiva
Alineamiento corporal (existencia de un defecto o anomalía física)	Deporte practicado (modalidad y especialidad, exposición / oponente)
Coordinación	Experiencia en el deporte
Estado mental o psicológicos	
Presencia de lesiones previas	

Nota. Elaboración propia.

4.1.1. Caracterización de los practicantes

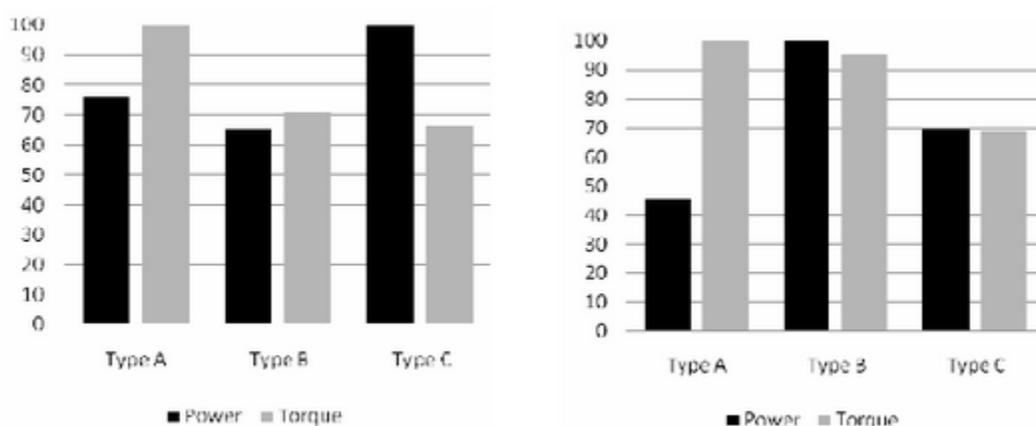
Para realizar la caracterización de los practicantes se tuvieron en cuenta los datos importantes fisiológicos intrínsecos que se ilustran en un breve resumen en la Tabla 3 al deportista. Finalmente se tuvieron en cuenta los presentados a continuación: Edad, Género, existencia de lesiones previas, tiempo de experiencia, experiencia en el deporte, Con estos datos, se puede tener una correcta caracterización de los deportistas que participen del experimento

4.1.2. Selección de variables a medir por el dispositivo.

Teniendo en cuenta la Tabla 3, se indica que la técnica es un factor de riesgo para incurrir en una lesión y como muestra la Figura 10, la trayectoria C presenta un menor torque que recae en las en las articulaciones, por tal motivo se escoge como variable a ser medida la trayectoria de la barra en el plano sagital ya que entre menos potencia y torque sea disipado por las articulaciones, menor será el riesgo de una lesión.

Figura 10

Costo en potencia y torque de las trayectorias definidas



Nota. La figura indica la potencia y torque consumidos por las articulaciones en levantamientos de 100Kg (izquierda) y 200Kg(derecha). Tomado de (Nejadian et al., 2010)

De lo anterior se logró encontrar que, en el plano sagital, realizando el seguimiento de la trayectoria de la barra, es posible determinar la calidad del movimiento relacionando el tipo de trayectoria trazada por esta, ya que como indican diferentes autores la trayectoria C no disipa tanto torque y potencia en las articulaciones como las demás. Los datos que se desean obtener por parte del sistema son la clasificación de la trayectoria, así como la distancia de diferencia entre las trayectorias definidas.

Con las variables identificadas, se desea también conocer una realimentación por parte de los usuarios para validar el dispositivo. En la tabla 4 Se definen las variables y las preguntas formuladas:

Tabla 4

Variables para validación del dispositivo y caracterización de los encuestados

Variable	Pregunta	Unidades de medida
Sexo biológico (Cualitativo)	¿Cuál es tu sexo biológico?	Hombre o mujer (caracteres)
Edad del participante (Cuantitativo)	¿Podrías indicarme tu edad?	Rango de edad
Experiencia en el deporte (Cuantitativo)	¿Cuántos meses de experiencia llevas en deportes relacionados a levantamiento de pesas?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)
Funcionalidad (Cuantitativo)	¿El prototipo en general ayuda a identificar la trayectoria trazada por la barra en el plano sagital (lateral)?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)
Importancia de uso de sistemas ópticos (Cuantitativo)	¿Consideras que la realimentación visual ayuda a mejorar la técnica del practicante?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)
Adaptación al entorno (Cuantitativo)	¿Qué tanto se adapta el dispositivo en el entorno donde se realiza el deporte?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)

Confort (Cuantitativo)	¿Qué tan intrusivo es el dispositivo al momento de su uso?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)
Utilidad de los datos suministrados (Cuantitativo)	¿Qué tan importantes considera que son los datos suministrados por el sistema?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)
Calidad de la trayectoria registrada (Cuantitativo)	¿Consideras que el sistema logra seguir la trayectoria del practicante?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)
Calidad del sistema de clasificación de las trayectorias (Cuantitativo)	¿Consideras que el sistema logra clasificar la trayectoria del practicante?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)
Prevención de lesiones (Cuantitativo)	¿Según su criterio, considera que la mejora de la técnica mediante el uso del sistema, ayuda a prevenir lesiones en la rodilla?	Rango de números (1 a 10 siendo 1 una mala calificación y 10 la mejor)

Nota. Elaboración propia

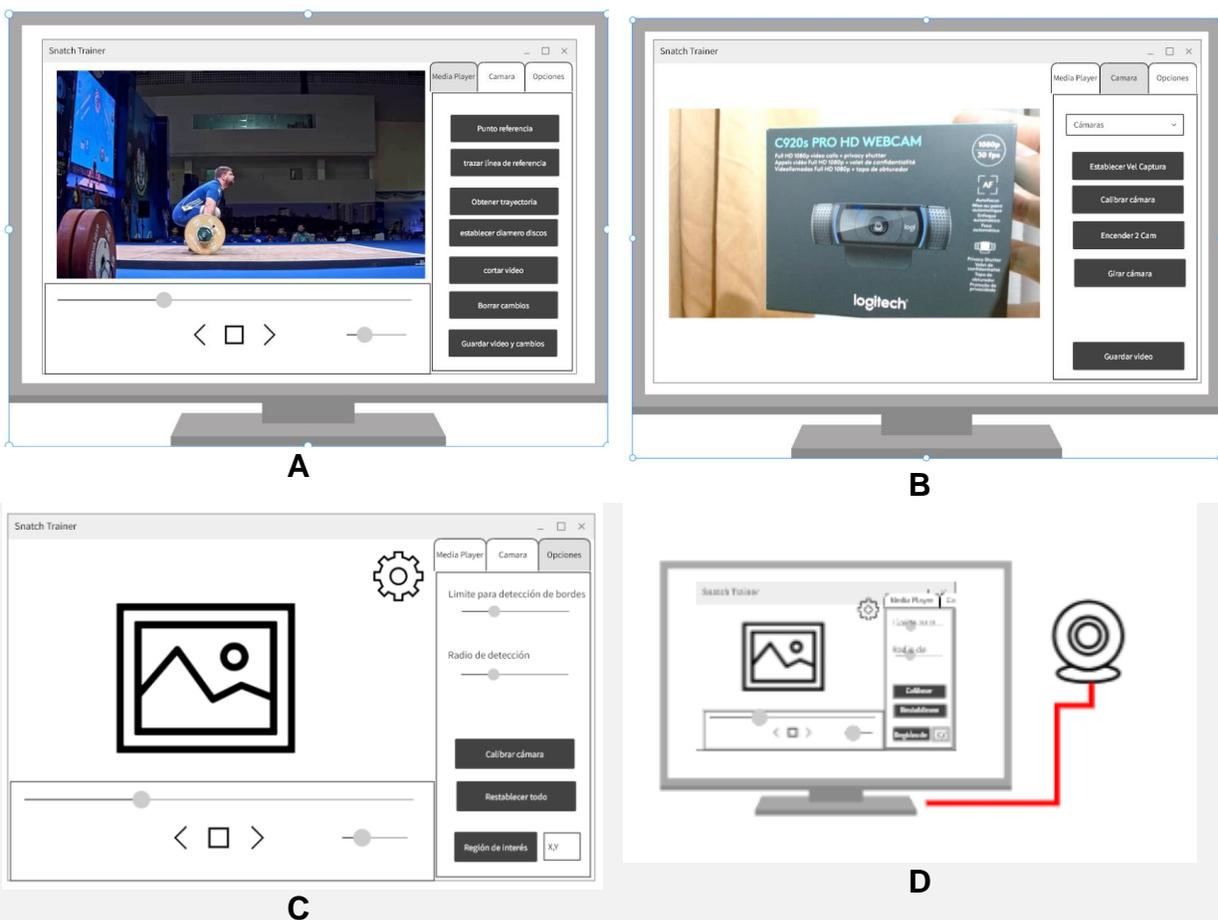
4.2. Diseño y simulación del sistema

Con los parámetros establecidos, se buscó inspiración en reproductores de video y en herramientas relacionadas, se tomó inspiración de 3 programas: “*Davinci Resolve*” que es un editor de videos profesional, “*Power Video*” que es un reproductor de contenido multimedia y “*Kinovea*” que es un programa conocido por permitir hacer mediciones en general enfocado a los deportes en general.

En la Figura 11 se presentan los bosquejos planteados para la interfaz de usuario y diagrama de conexiones realizados en la herramienta web “*WireFrame pro*”.

Figura 11

“Mockups” del diseño de la aplicación y diagramas de conexiones.



Nota. Elaboración propia

En la Imagen A de la Figura 11, se observa la pantalla del reproductor del video donde se realizan todas las operaciones de edición del video como corte, rotación, y el seguimiento de la barra. En la imagen B de la Figura 11, se observa la pantalla de grabar la cámara. Se muestra además la cámara usada para la captura de video. En la imagen C de la Figura 11, se observan las opciones sobre el aplicativo en general como los cuadros por segundo, el puerto de conexión de la cámara, quitar la deformación

intrínseca de la cámara. En la Imagen D de la Figura 11 se muestra el diagrama de conexión de la cámara con el portátil o plataforma donde se ejecute el programa.

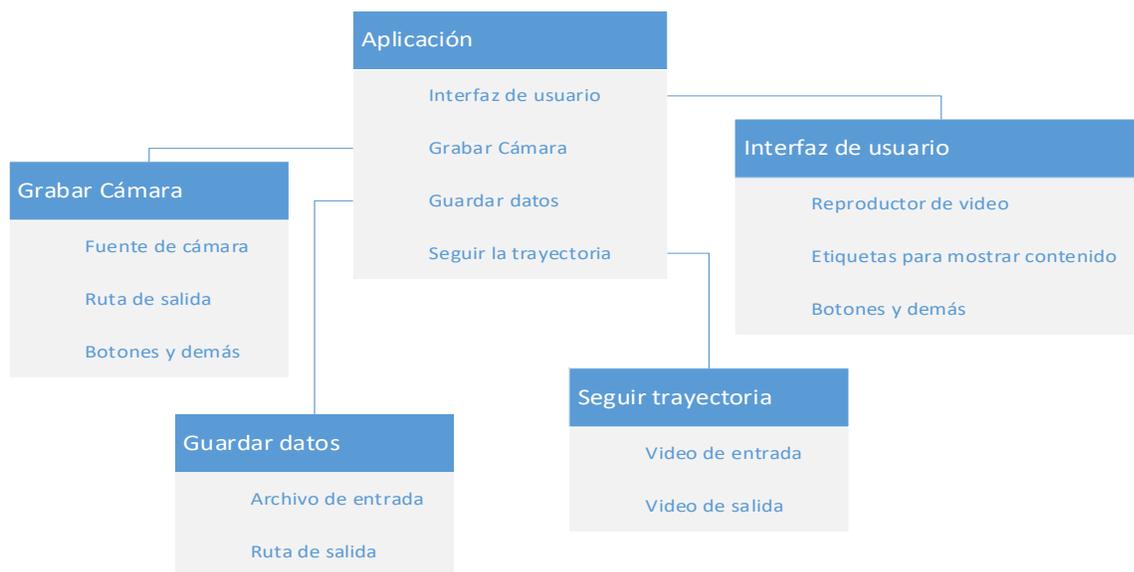
En la Figura 12 se presenta un diagrama UML básico con la estructura de las funciones y objetos a ser implementados. El objeto Aplicación, para su correcto funcionamiento debe tener el objeto interfaz de usuario, También se puede llamar o no al objeto Grabar cámara ya que el usuario puede usar un video que no haya sido grabado por el sistema, por lo cual puede hacerse uso o no del objeto Grabar cámara. Se llama también al objeto seguir trayectoria que es el encargado de realizar el seguimiento a la barra en el plano sagital. Por último, se hace uso del objeto guardar datos para almacenar el video, las trayectorias y clasificación de estas en formato “.csv” y “.json”.

En el objeto Grabar Cámara, se requiere de un puerto donde se conecta la cámara, cabe mencionar que el usuario puede conectar diferentes cámaras que no sean la Logitech 920 sin embargo no es posible realizar la eliminación de la deformación del video de otras cámaras. Esto debido a que no se cuenta con la información suficiente para hacer la calibración de la cámara. Se necesita también de una ruta donde se guarda el video grabado el cual es generado de forma automática por el mismo y la conexión a una interfaz de usuario para poder accionar las opciones. El objeto Interfaz de usuario debe mostrar un reproductor de video para facilidad de los usuarios de interactuar con los archivos multimedia. Y los demás componentes de interfaz de usuario para mostrar los datos. El objeto Seguir trayectoria hace uso de un video de entrada y una ruta para guardar el video modificado mostrando la trayectoria trazada por la barra. El video de entrada corresponde al archivo de video último creado o modificado por el usuario por el

software y el video de salida se guarda por defecto por el programa como un archivo temporal. Finalmente, en el objeto Guardar datos, acepta como entrada solamente el video con la trayectoria de salida y tiene como salida la trayectoria trazada por el usuario en formato “.csv”, el video donde se grafica la trayectoria seguida por la barra y el archivo “.json”.

Figura 12

Estructura de archivos Resumida



Nota. Elaboración propia

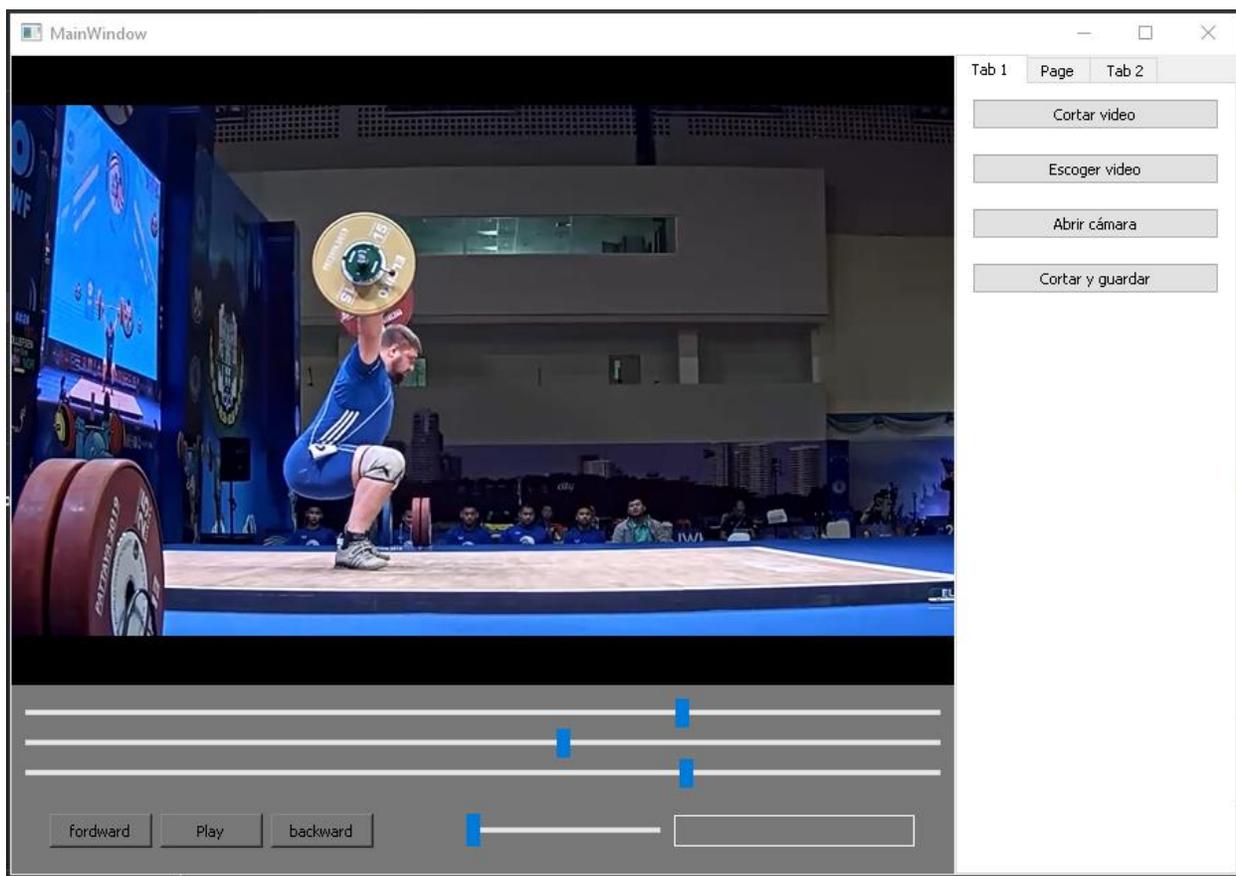
Vale destacar que, en el sistema, se desea tener 2 diferentes secciones, la primera donde se realiza la grabación del video y la edición de este mismo, y la segunda donde se grafica la trayectoria y se realiza la clasificación de esta.

4.3. Implementar prototipo

En la Figura 13 se presenta el diseño de la primera interfaz de usuario la cual se describirá a continuación.

Figura 13

Primer diseño de la interfaz de usuario



Nota. Elaboración propia

En la pantalla se presenta el reproductor de videos junto con 3 barras horizontales. La primera indica la posición actual del video, la segunda indica el punto de inicio del corte del video y la última indica el punto final de corte del video, la cuarta se usó para control del volumen del video. Tiene también controles para reproducir el video hacia

adelante y atrás. En la zona lateral derecha, se encuentra el menú donde se pueden realizar las operaciones y al ser clicados, se modifica en el menú de la parte inferior de la aplicación.

Al empezar el desarrollo el prototipo, se hizo uso de archivos en formato *"ipynb"* para poder realizar diferentes pruebas e irlos incorporando al código principal del sistema y el control del versiones con "Git". Para el reproductor de video y las funciones relacionadas a los cortes y transformaciones de los videos en diferentes formatos, se hizo uso de la herramienta *"FFmpeg"*

En la Figura 14 se muestra la segunda pantalla que posee las funciones para abrir la cámara y grabar videos. Para poder mostrar la imagen de la cámara, se ha implementado una función la cual abre los puertos disponibles y trata de conseguir una imagen, dependiendo del resultado, se clasifica el puerto como ocupado o disponible. En esta misma función, se conecta una señal para saber si el usuario desea grabar la cámara. Para poder grabar, se debe seleccionar de forma manual los cuadros por segundos que tenga la cámara y de cual puerto desea obtener la señal. Al activarse la cámara, se habilita la opción de grabar.

Figura 14*Abrir cámara*

Nota. Elaboración propia

En la Figura 14 se muestra el resultado de la función implementada para realizar el seguimiento de la trayectoria trazada por la barra. Para la obtención de la trayectoria, se hizo uso de la transformada de Hough junto con un filtro de media. El rango de detección de radio de círculos es estático. Los resultados fotograma por fotograma, son guardados y posteriormente se dibuja los círculos detectados.

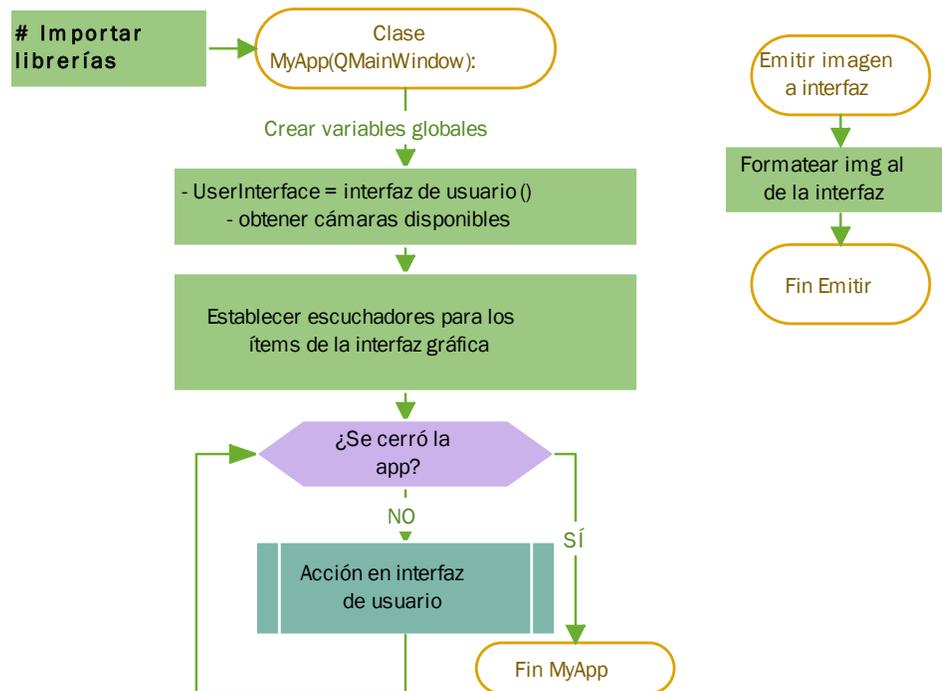
Figura 15

Obtención de la trayectoria



Nota. Elaboración propia

En la Figura 16 se presenta el diagrama de flujo del programa en forma general. Se ejecuta al mismo tiempo la interfaz de usuario. Se hace uso de los hilos del núcleo del procesador para ejecutar los dos procesos al mismo tiempo.

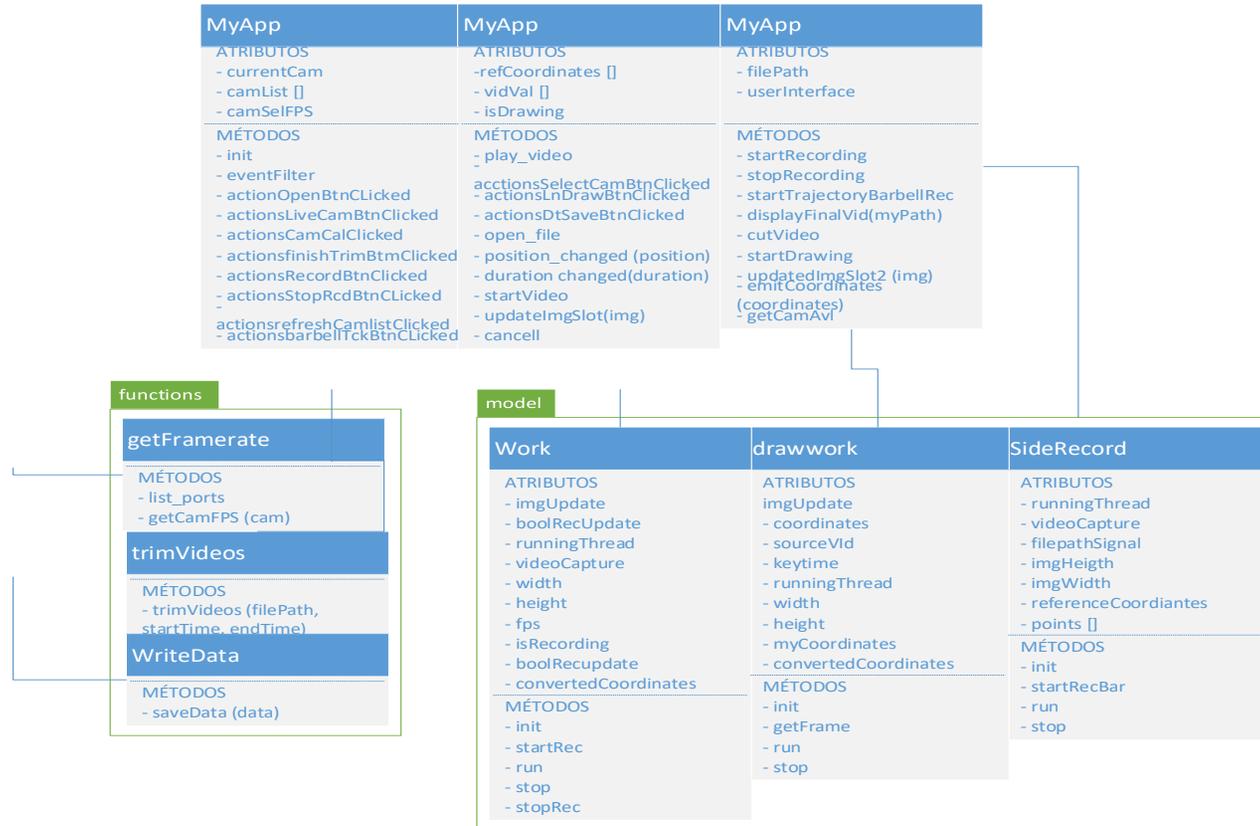
Figura 16*Función principal*

Nota. Elaboración propia

En la Figura 17 se muestra el diagrama UML con las características más importantes para el funcionamiento de cada una de las funciones implementadas. Al iniciar la aplicación, se espera a que de la interfaz de usuario produzca una señal para poder entrar a alguna de las etapas las cuales ejecutan las funciones determinadas para cada botón. Al finalizar la ejecución del subproceso, se emite otra bandera (señal) que regresa al punto inicial de espera a la función principal, es decir, no es posible ejecutar 2 funciones (por ejemplo, cortar video y detectar la trayectoria)

Figura 17

Diagrama de clases, funciones y paquetes



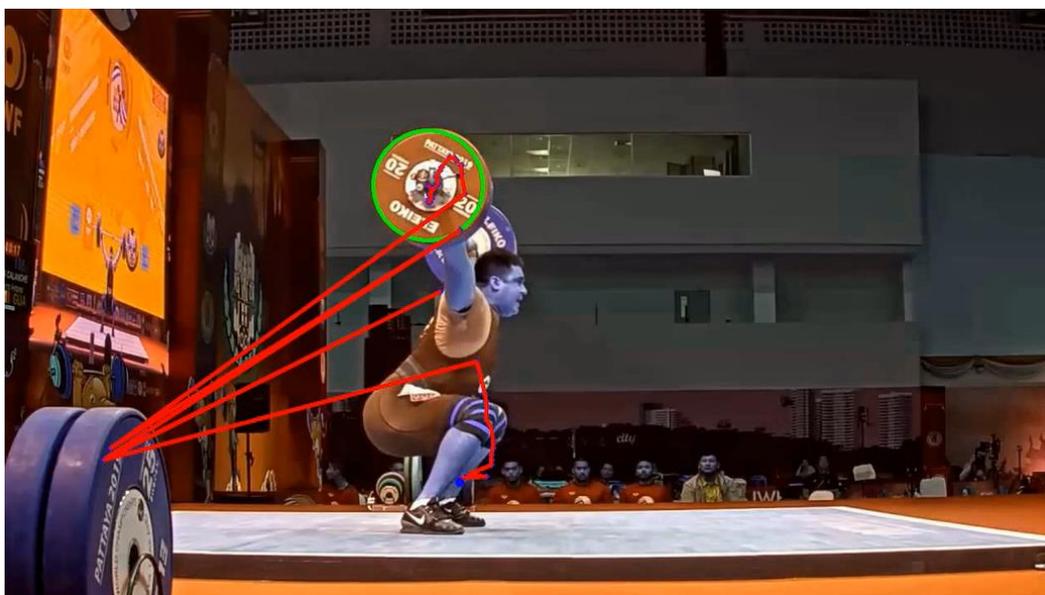
Nota. En esta figura se muestra el diagrama UML con los paquetes creados y la relaciones entre los objetos creados.

Elaboración propia

El uso de la transformada de Hough junto con los filtros resultan ser suficientes para hacer la identificación de la barra por medio de los discos puestos en estos. Sin embargo, es necesario establecer una región de interés para evitar falsas detecciones como se muestra en la Figura 18. Las falsas detecciones resultan por bordes o reflejos en la imagen original, ya que se toma toda la imagen, resulta probable encontrarse con siluetas similares a círculos. Es necesario mejorar la interfaz de usuario para volver más intuitivo el sistema.

Figura 18

Falsas detecciones debido a falta de región de interés



Nota. Se muestran falsas detecciones por falta de una región de interés. Elaboración propia

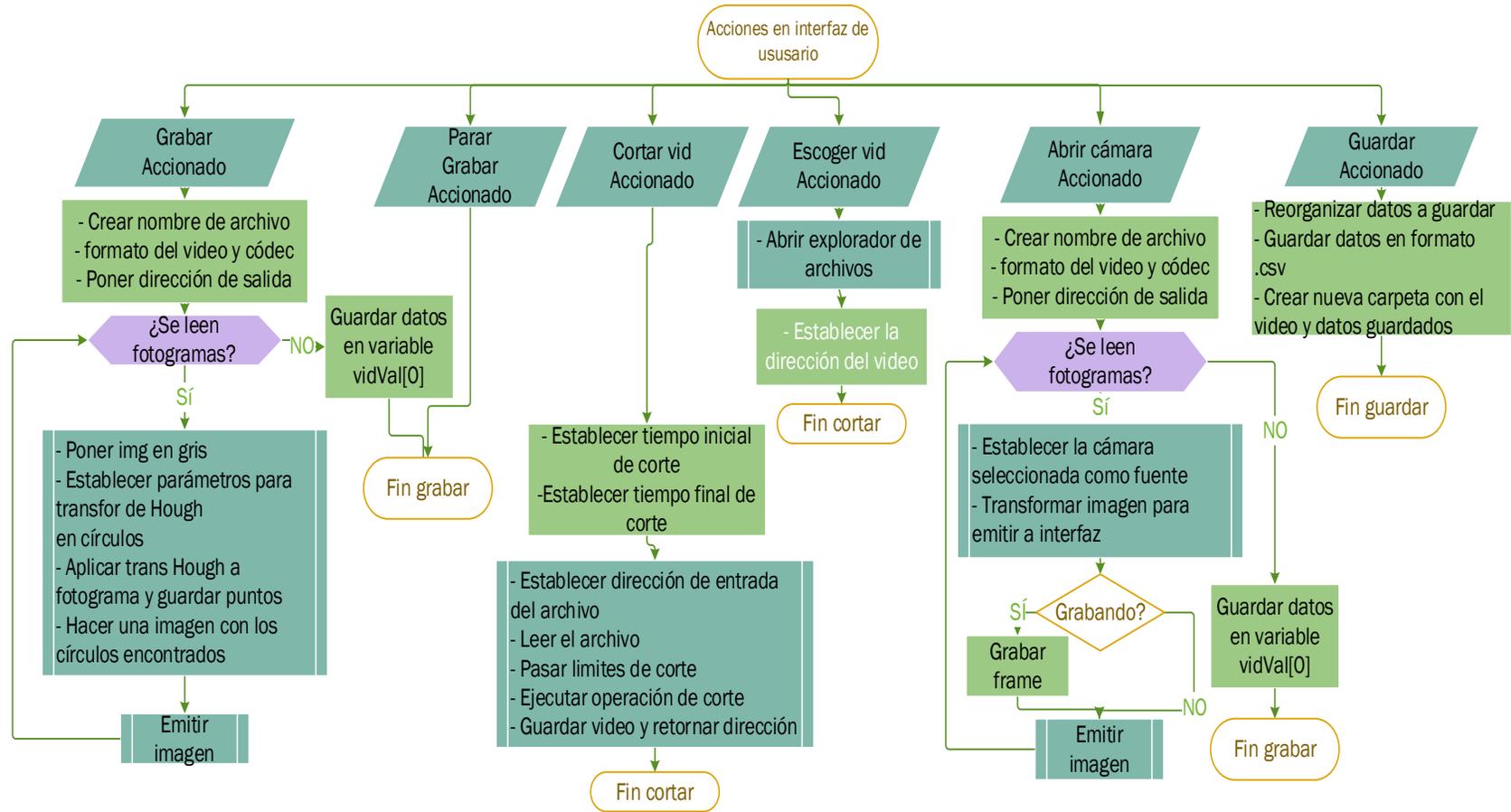
4.4. Versión final del sistema.

Al iniciar la aplicación, se espera una señal desde la interfaz de usuario para poder entrar a alguna de las etapas las cuales ejecutan las funciones determinadas para cada botón. Al finalizar la ejecución del subproceso, se emite otra bandera (señal) que regresa al punto inicial de espera a la función principal, es decir, no es posible ejecutar 2 funciones al tiempo (por ejemplo, cortar video y detectar la trayectoria de la barra). Primero se hace la importación de los archivos y objetos necesarios para la ejecución del código. Luego se crea un objeto de tipo Aplicación. Se ejecuta el inicializador donde se crean e inicializan los objetos, atributos y métodos respectivos. Luego se crean escuchadores a la interfaz de usuario para que al accionar los botones y demás componentes se llame a las funciones implementadas sin detener el proceso de la interfaz, es decir se ejecutan 3 procesos en diferentes hilos del procesador; uno para las funciones otro para la aplicación en sí y otro para la interfaz de usuario los cuales se comunican por señales (los escuchadores)

En la Figura 19 se muestra el diagrama de flujo con las características más importantes para el funcionamiento de cada una de las funciones implementadas.

Figura 19

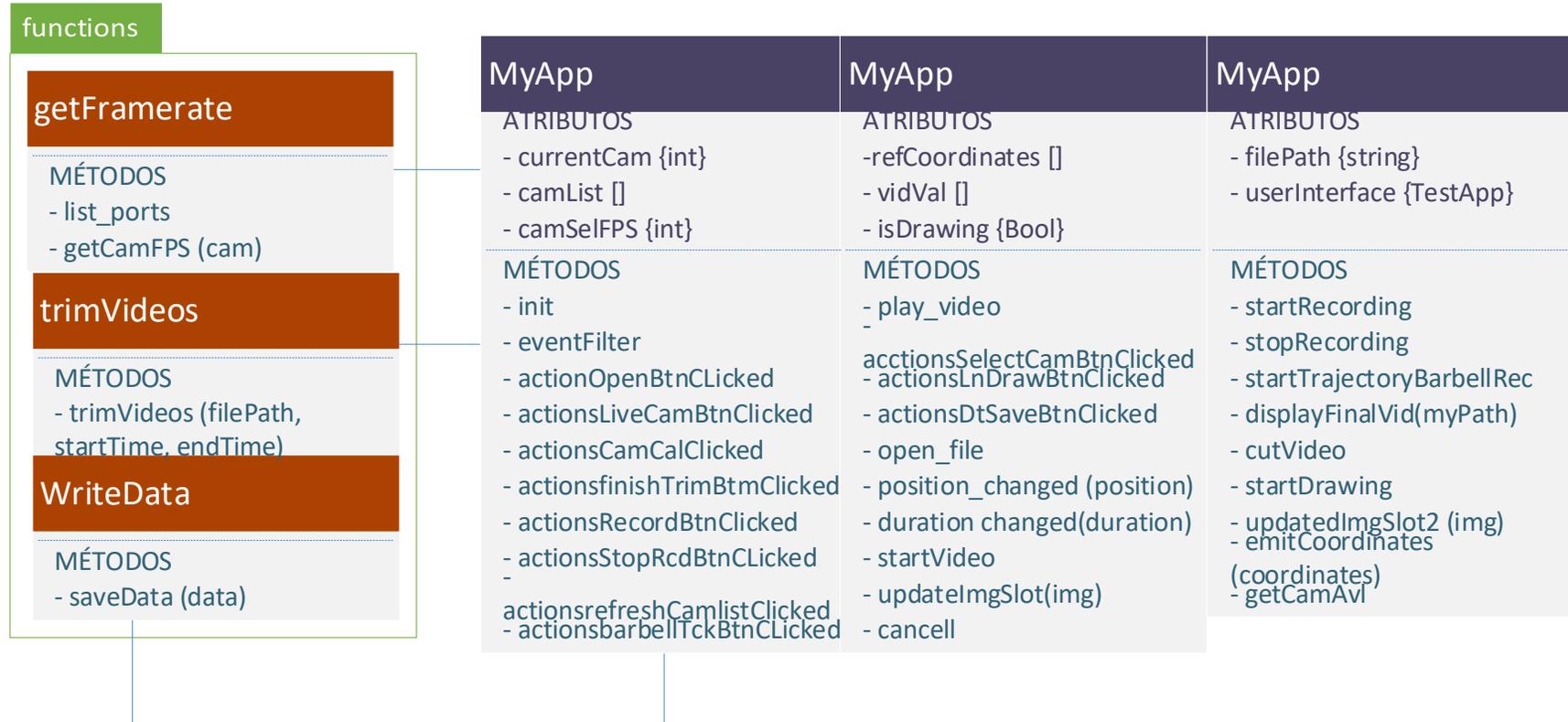
Gráfico Del Fuljo Del Programa



Nota. Elaboración propia

Figura 20

Diagrama De Clases, Funciones Y Paquetes

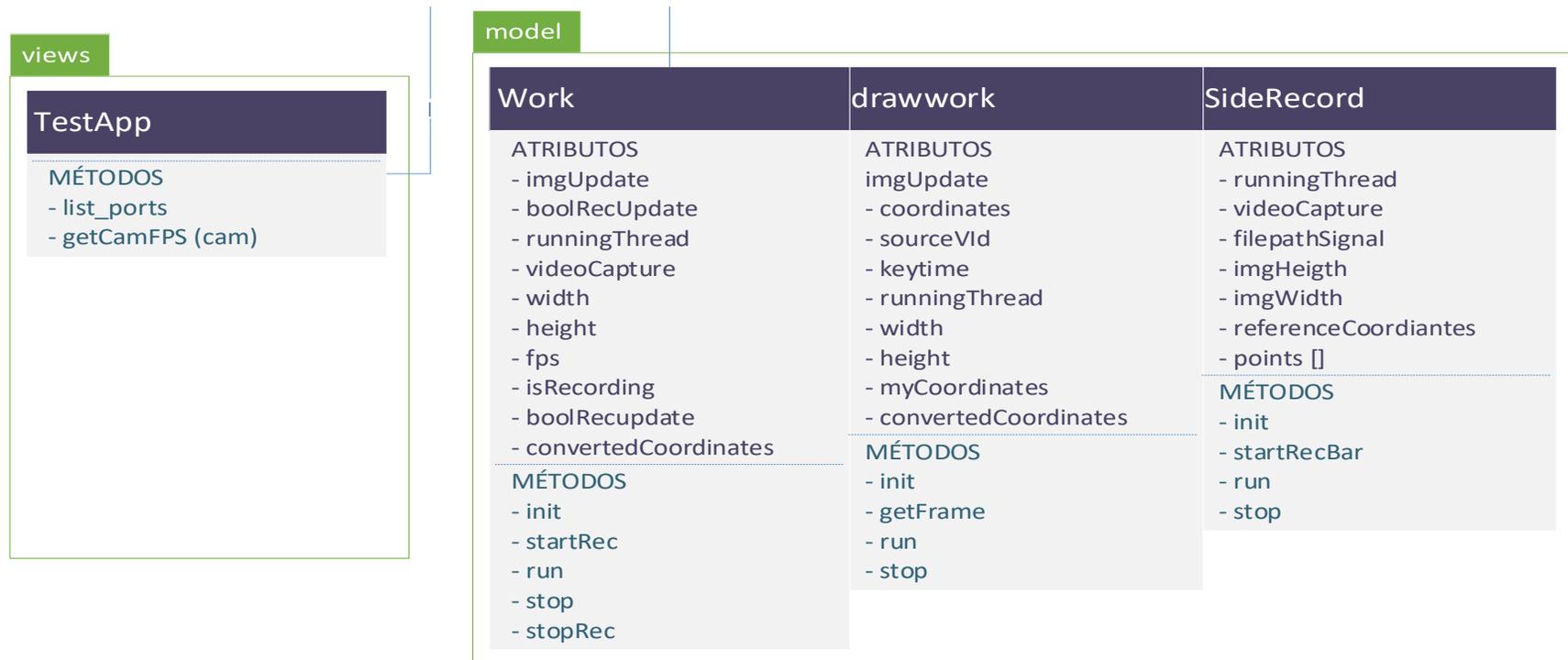


Nota. En esta figura se muestra el diagrama UML con los paquetes creados y la relaciones entre los objetos creados.

Elaboración propia

Figura 21

Continuación Diagrama De Clases Funciones Y Paquetes



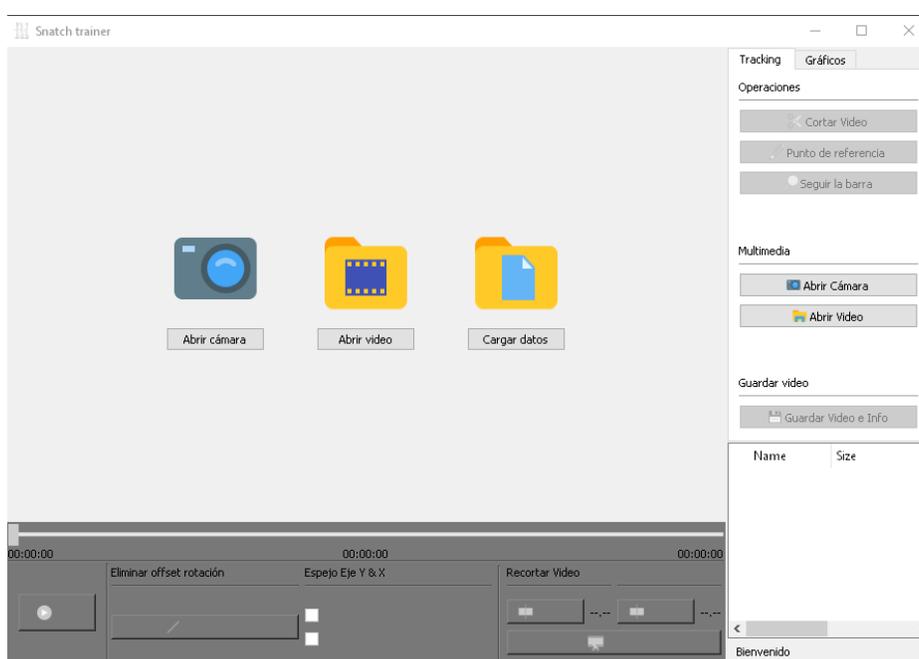
Nota. En esta figura se muestra el diagrama UML con los paquetes creados y la relaciones entre los objetos creados

Elaboración propia

En la Figura 22 se presenta las modificaciones hechas a la interfaz de usuario. Se crea un menú principal para que pueda escoger entre las 3 funciones principales de la aplicación: Abrir y grabar cámara, procesar el video, obtener la trayectoria y la clasificación de esta.

Figura 22

Menú Principal De La Aplicación



Nota. Elaboración propia

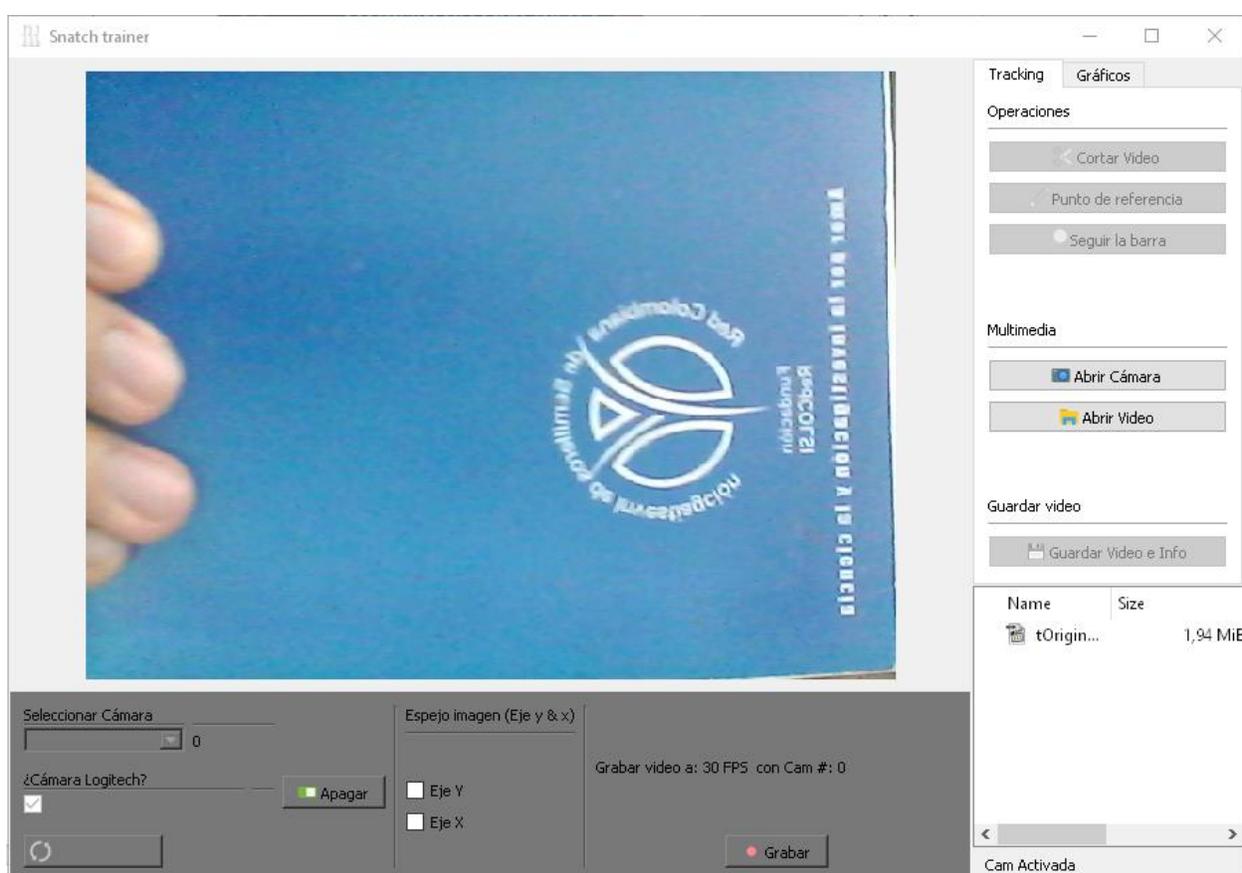
Al grabar la cámara, puede que la imagen se encuentre en espejo y los pies apuntando para el lado izquierdo, por lo que se implementan las operaciones de espejo en los ejes X & Y ya que la clasificación de las trayectorias no le es indiferente si se graba desde el lado izquierdo o derecho. Se implementa la opción de escoger entre las diferentes cámaras que tenga el sistema conectadas (por ejemplo, la presente por defecto en el portátil y las conectadas por los puertos USB) para evitar problemas de no

detección de la cámara correcta. También se implementa la opción de poder encender y apagar la cámara sin necesidad de grabar al encender la cámara.

En la Figura 23 se pueden observar implementadas en la interfaz de usuario las opciones anteriormente mencionadas.

Figura 23

Pantalla De Grabar Y Abrir Cámara.

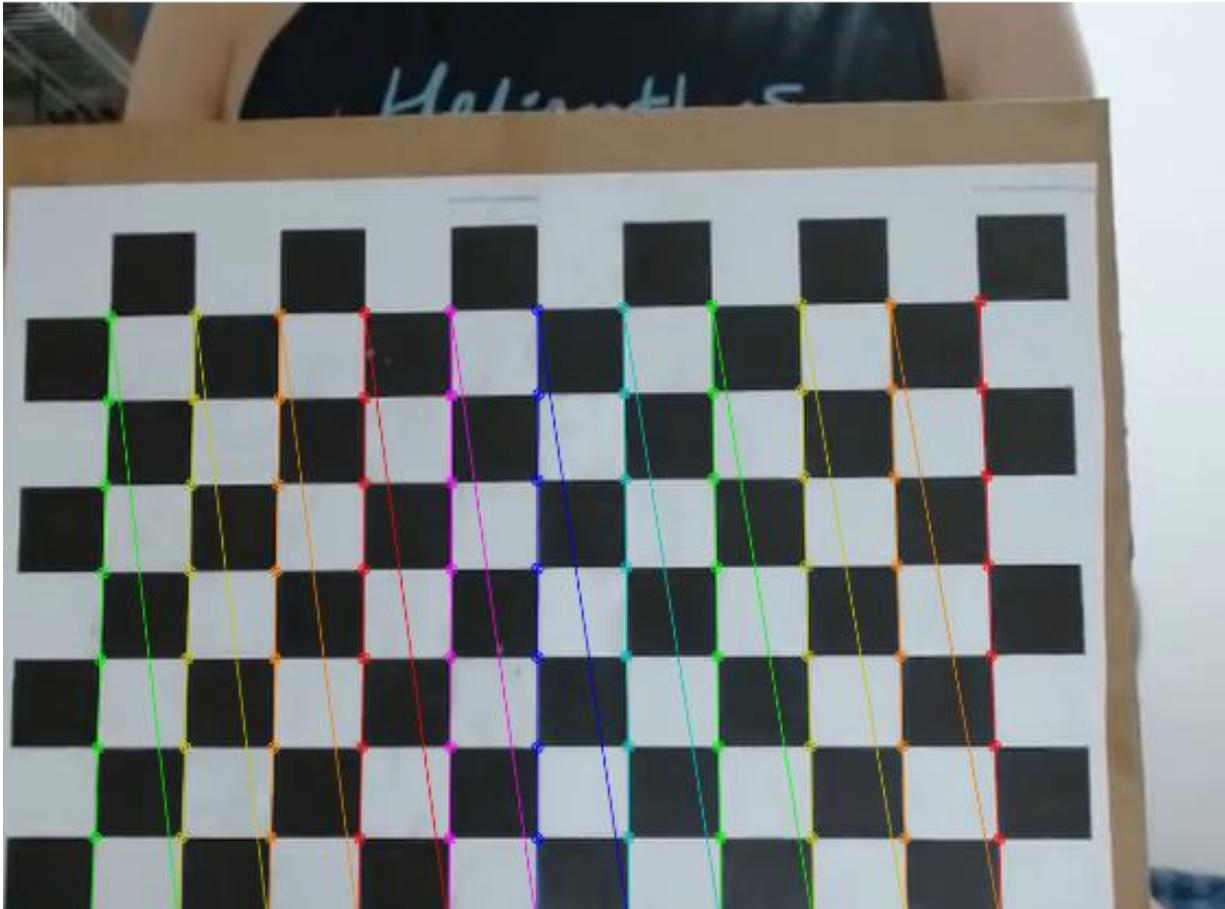


Nota. Elaboración propia.

En la figura 24 se observa el patrón de ajedrez usado para la calibración de la cámara Logitech 920.

Figura 24

Calibración De La Cámara Por El Método De Zhang



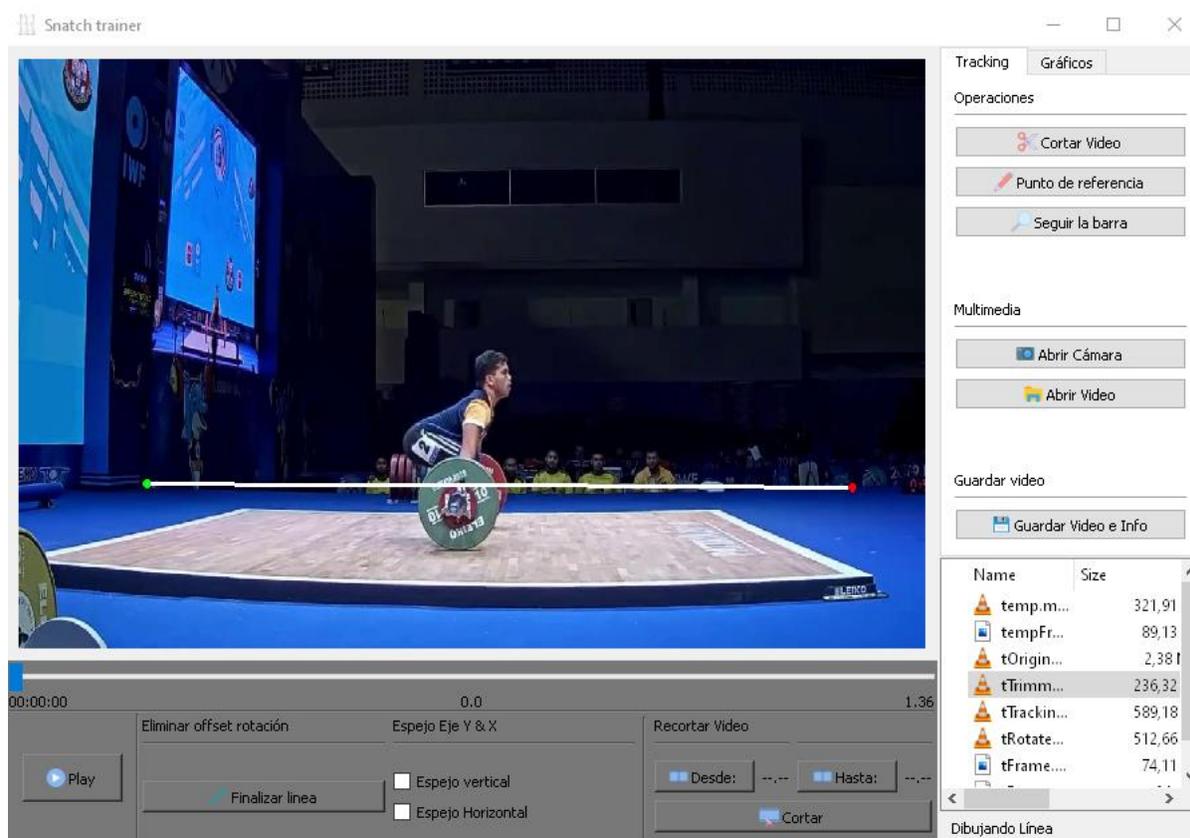
Nota. Elaboración propia

Debido a la las deformaciones que presentan las imágenes grabadas por la cámara Logitech 920, se realizó una calibración de esta. Se creó una carpeta con 90 imágenes con un patrón de 9x12 con un patrón de mesa de ajedrez aplicando el método de calibración de Zhang.

En la Figura 25, se muestra la pantalla del reproductor del video con las funciones extras añadidas.

Figura 25

Pantalla Del Reproductor De Videos.



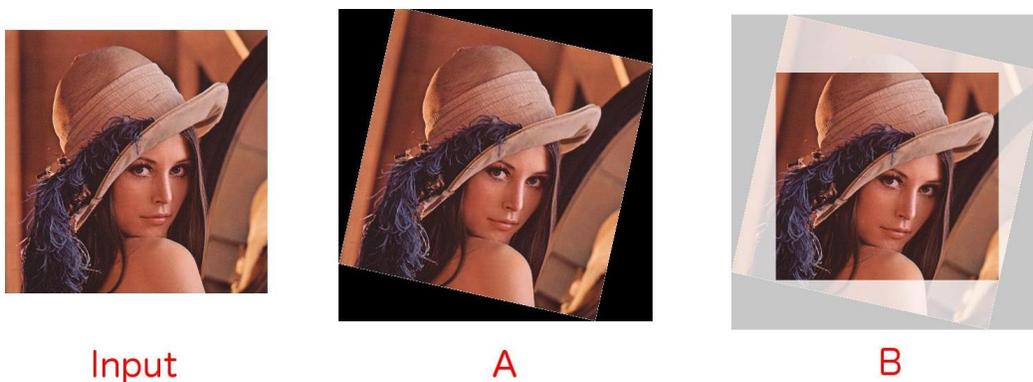
Nota. Elaboración propia.

Como muestra la Figura 25, Al poder permitir videos por parte del usuario, se implementó poder rotar los videos. El proceso inicia con la creación de una línea como se ilustra en la Figura 25. De la cual se obtiene el grado de inclinación. Este ángulo luego se usa para obtiene la matriz de rotación como se muestra en la Figura 26 y Figura 27, calculando las nuevas dimensiones de la imagen, sin embargo, la imagen al aplicar la rotación se traslada del centro por lo que también se obtiene la matriz de translación, aplicando ambas se obtiene la imagen centrada con bordes negros. Luego se calcula el

rectángulo con mayor área entre el rectángulo de la nueva imagen y el de la imagen original. Con las dimensiones de este rectángulo, se aplica un corte a la imagen rotada obteniendo finalmente la imagen rotada y cortada. Esta operación se hace para cada fotograma en el video y se graba en formato .mkv Snoswell (2017).

Figura 26

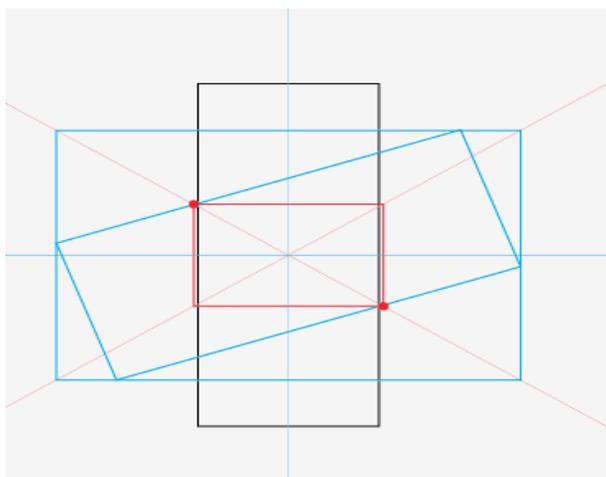
Operación Rotar Y Cortar



Nota. Proceso de rotación de una imagen. Tomado de Snoswell, (2017)

Figura 27

Región De Corte De La Imagen Luego De Ser Rotada

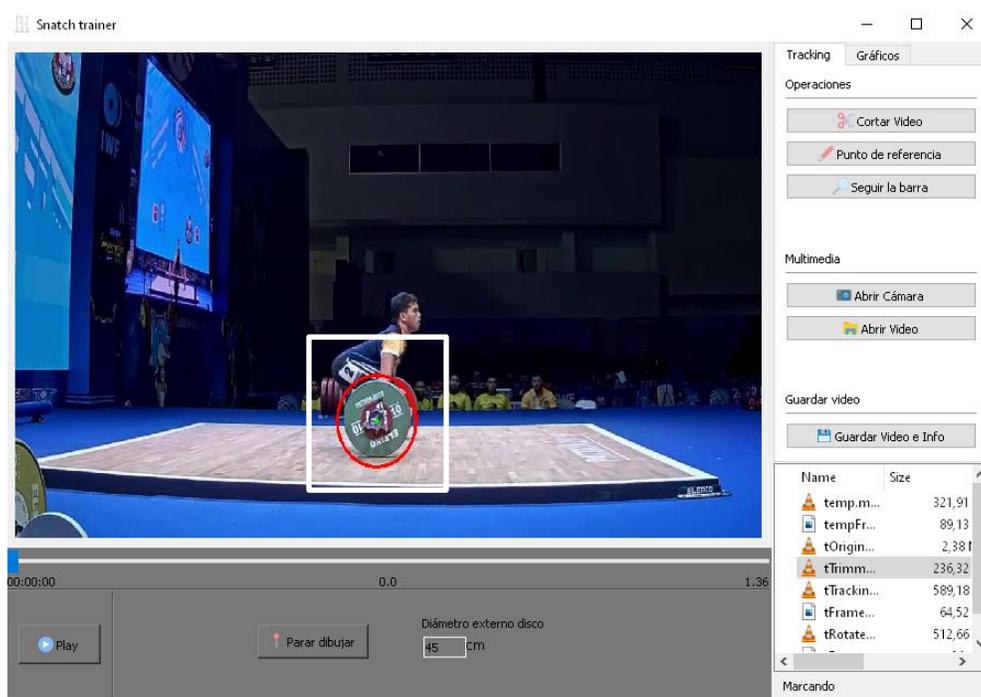


Nota. Se muestra la región de corte para quitar los bordes negros de la imagen. Tomado de de Snoswell, (2017)

Al establecer el punto de referencia, esta vez se solicita al usuario dibujar un círculo que inicie desde el centro del disco hasta el final de este. De esta forma, se establece la región de interés cortando la imagen cerca a los límites del disco. Además, se toma el diámetro del círculo y se establecen los límites de detección para la transformada de Hough. en la Figura 28.

Figura 28

Pantallas Del Programa



Nota. Elaboración propia

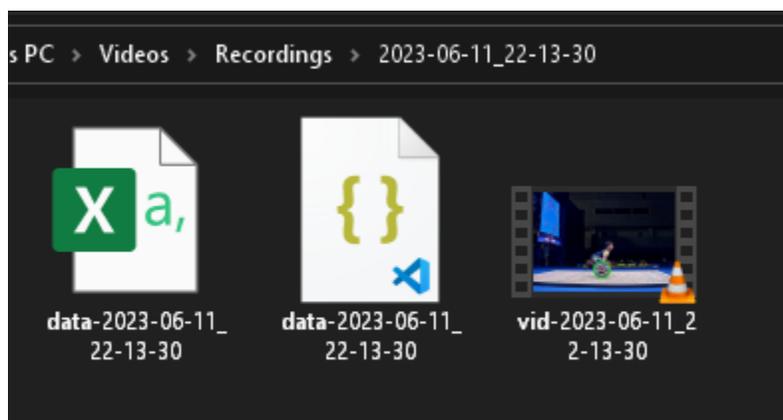
Como modificaciones hechas a la generación del video, se hizo uso del formato “.mkv” ya que este no guarda los metadatos al final del archivo y si hay alguna

interrupción relacionada a la captura de los fotogramas, existe menor probabilidad que el video se corrompa. De esta misma forma, se aceptan formatos “*mp4*” que posteriormente de ser subidos al sistema, son convertidos a “*mkv*”. Para realizar la conversión fue necesario usar el programa “*FFmpeg*” que sirve para transformar y crear archivos multimedia.

Al guardar información, se agregaron a los datos, el diámetro en pixeles y centímetros, ancho y alto de la imagen final, coordenadas en pixeles de la trayectoria, finalizando con la clasificación dada a la trayectoria del practicante. Además de guardar el video y datos en formato “*csv*”, se guardaron en formato. “*json*” lo cual facilita la importación de los datos al sistema en caso de que el usuario desee volver a visualizar los datos desde la aplicación. Luego los datos son cargados a un nuevo objeto donde se almacenan los datos anteriormente mencionados, como se muestra en la Figura 28.

Figura 29

Archivos Generados

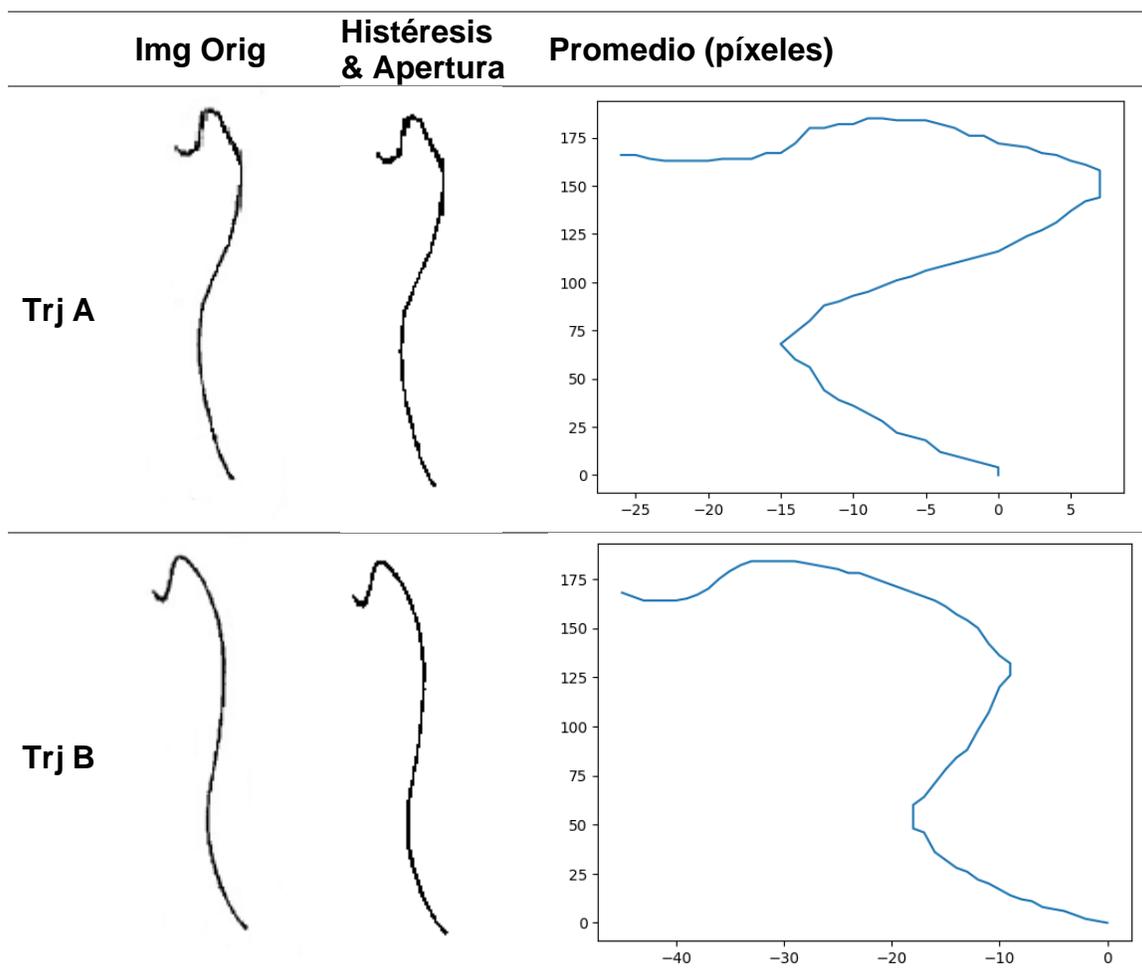


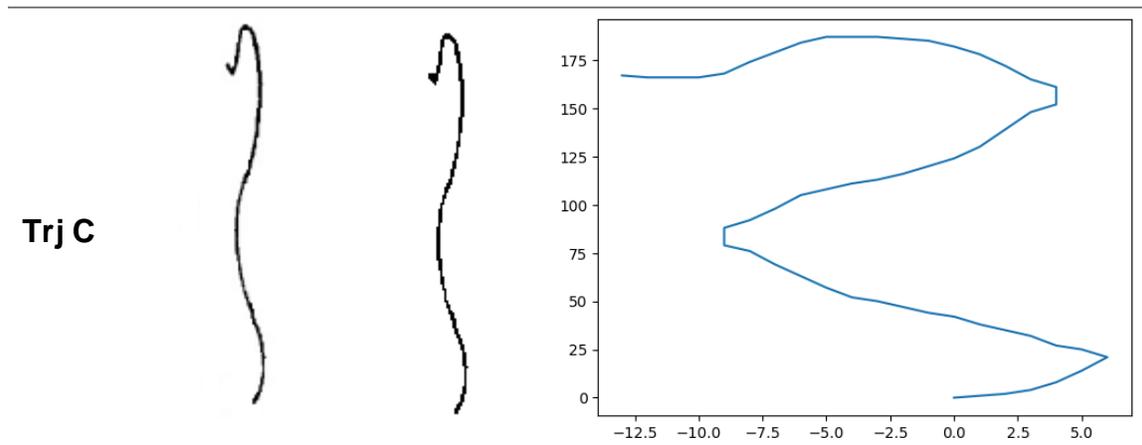
Nota. Elaboración propia

En el siguiente apartado, donde se grafican las trayectorias, primero se obtuvieron las trayectorias de referencia A, B y C desde la bibliografía, donde se evaluaron a diferentes atletas registrando la trayectoria trazada por estos. Se aplicaron operaciones de histéresis y posteriormente con un kernell 3x3, la operación de apertura morfológica. A la imagen resultante, por columnas se promedió el centro de los ceros obteniendo una curva. Los datos fueron guardados en formato json y al iniciar la aplicación se cargan las trayectorias con el programa sin tener que volver a obtener los puntos de las imágenes

Tabla 5

Obtención De Las Trayectorias De Referencia





Nota. Elaboración Propia

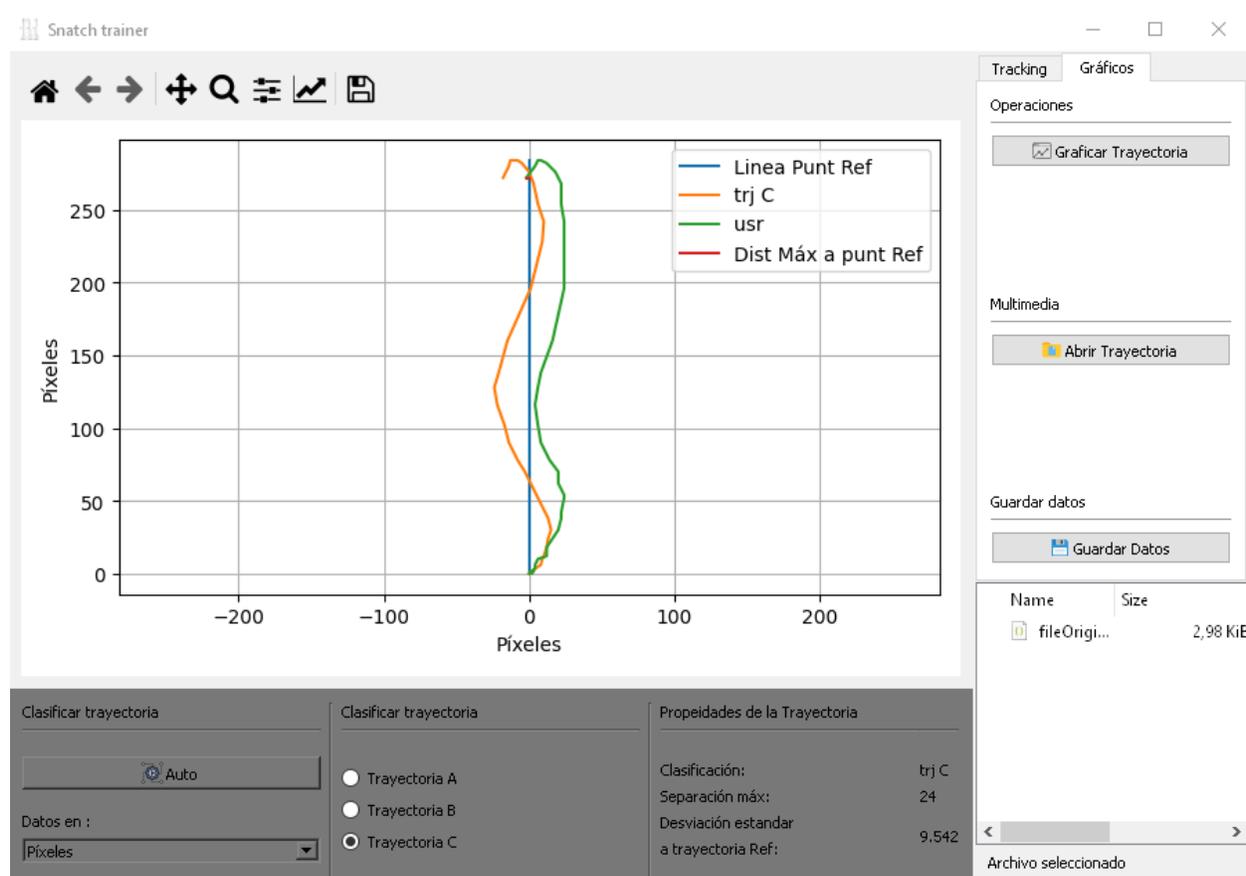
Finalmente, con el punto de referencia, se llevan los datos al punto cero, se escalan los datos al tamaño de los datos del usuario y se hace la interpolación de primer grado de las trayectorias de referencia con los datos suministrados por el usuario, logrando obtener valores para los puntos del usuario en las trayectorias de referencia. El resultado de estas operaciones se visualizan en la Tabla 5.

La clasificación de la trayectoria del usuario se hace tomando la desviación estandar entre la distancia entre cada punto de la trayectoria del usuario y la trayectoria de referencia. Al obtener la desviación estandar comparando las 3 trayectorias. La desviación estandar menor se considera como la trayectoria más parecida a la trazada por el usuario y se guarda la información.

La Figura 30 muestra un ejemplo de clasificación tipo C, donde a partir del grafico de la trayectoria se puede observar que la clasificación es exitosa ya que la forma de la trayectoria de referencia es similar a la trayecotria trazada por el deportista.

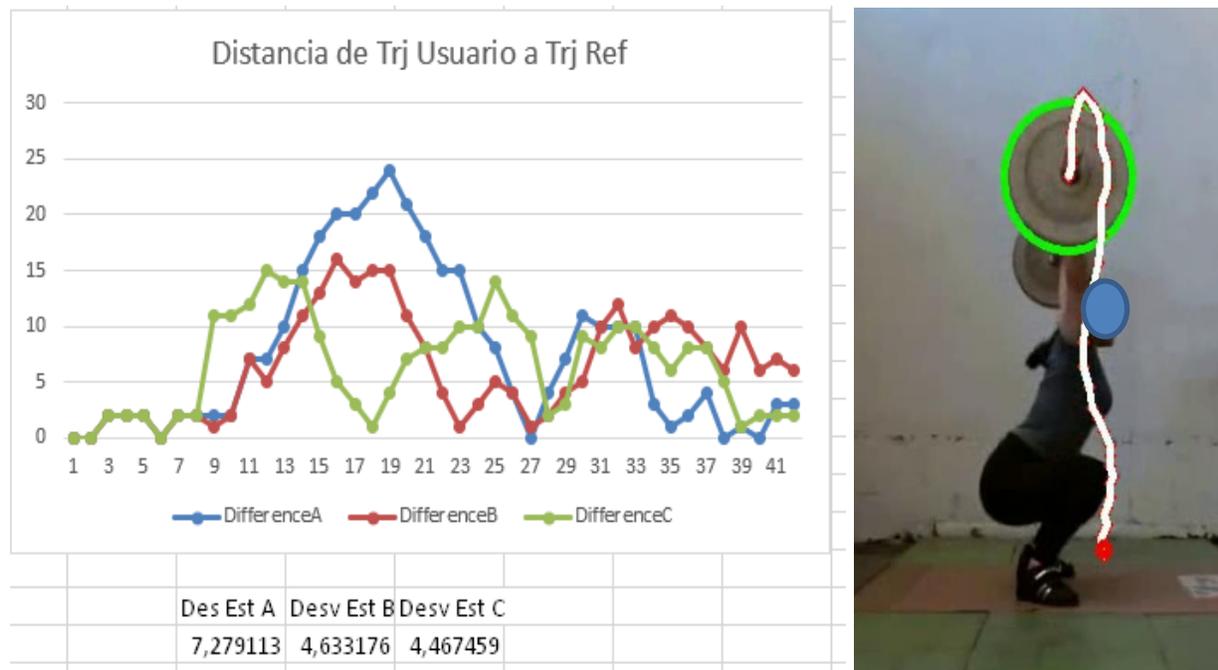
Figura 30

Clasificador De Trayectorias.



Nota. Elaboración propia

En la Figura 31 se visualiza la distancia de la trayectoria trazada por el usuario en comparación con las 3 trayectorias de referencia encontrando que la trayectoria descrita por el participante, se parece más a la trayectoria C.

Figura 31*Trayectoria Clasificada Como C*

Nota. Elaboración propia.

Es posible además, convertir los datos en centímetros dada la relación entre píxeles y centímetros establecida por el usuario al establecer el diámetro del disco, sin embargo, los datos se guardan en píxeles. Aun así, es posible mirar las demás trayectorias y saber la diferencia en distancia promedio de cada una de ellas a la trayectoria trazada por el usuario, lo cual define qué tan eficiente fue el movimiento (ver Figura 30). Aunque los datos estén en píxeles, se consideraron los decimales ya que estos pueden marcar diferencia en la hora de clasificar las trayectorias.

En la Tabla 5 y en la Figura 33 se muestra la diferencia en distancia promedio entre las trayectorias de referencia.

Tabla 6

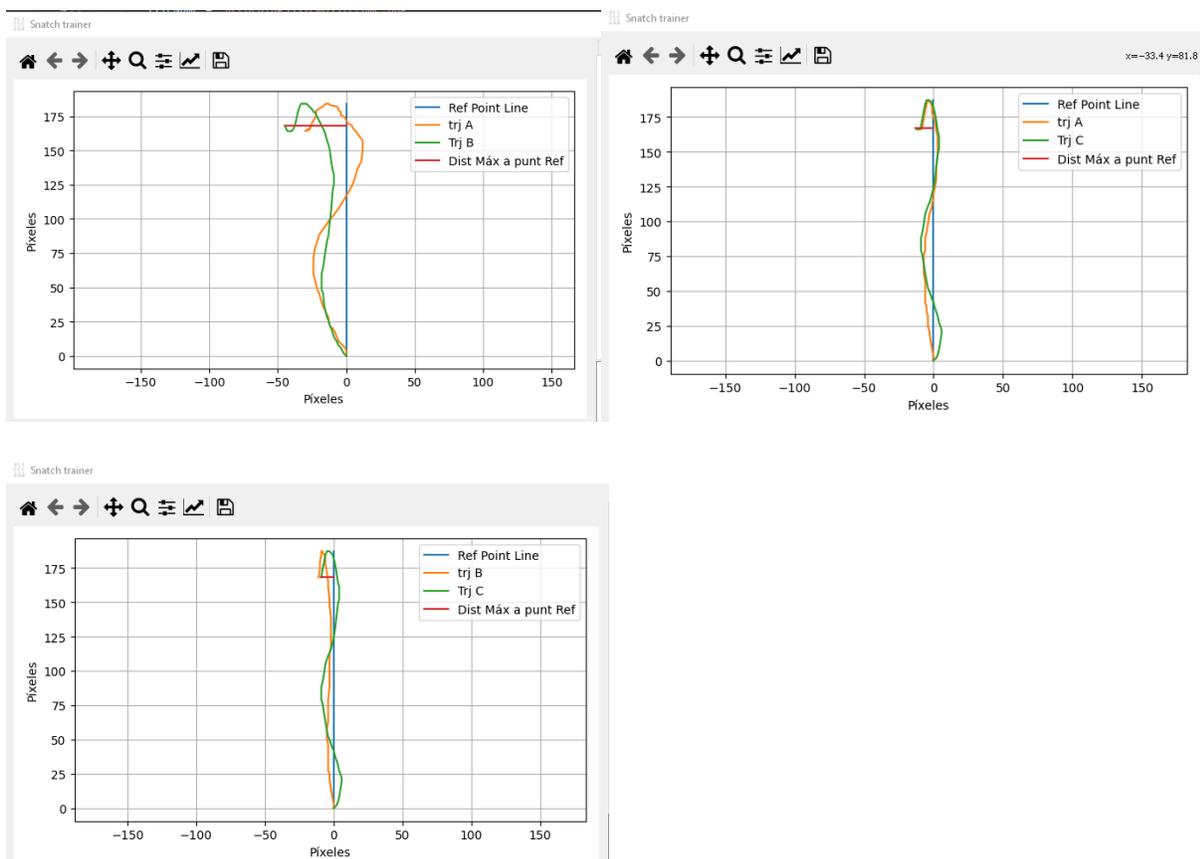
Diferencia Promedio Entre Las Trayectorias De Referencia

Diferencia distancia promedio trayectorias	Píxeles
A - B	11.612
A - C	2.611
B - C	4.14

Nota. Elaboración propia

Figura 32

Distancias Promedio Entre Trayectorias De Referencia



Nota. Elaboración Propia

Capítulo 5 Análisis de resultados

5.1. Caracterización de los participantes

Como resultados de las encuestas, se obtienen las siguientes características de los participantes (Tabla 6):

Tabla 7

Descripción De Los Encuestados

Edades		Género		Experiencia	
Edad	Frec	Sexo biológico	Frec	Meses de experiencia	Frec
De 13 a 16 años	5	Masculino	11	De 0 a 15 meses	8
De 17 a 20 años	5	Femenino	8	De 16 a 31 meses	3
De 21 a 24 años	7			De 32 a 47 meses	1
De 25 a 28 años	2			De 48 a 63 meses	4
De 29 a 32 años	0			De 64 a 79 meses	0
Mayores de 32 años	0			De 80 a 95 meses	1
				De 96 a 111 meses	1
				De 112 a 127 meses	0
				De 128 a 143 meses	0
				Mayor de 143 meses	1

Nota. Elaboración propia

5.2. Resultados del sistema

En la Tabla 8, se presentan en total las clasificaciones de las trayectorias obtenidas por el sistema

Tabla 8

Clasificación De Las Trayectorias De La Liga Según El Software

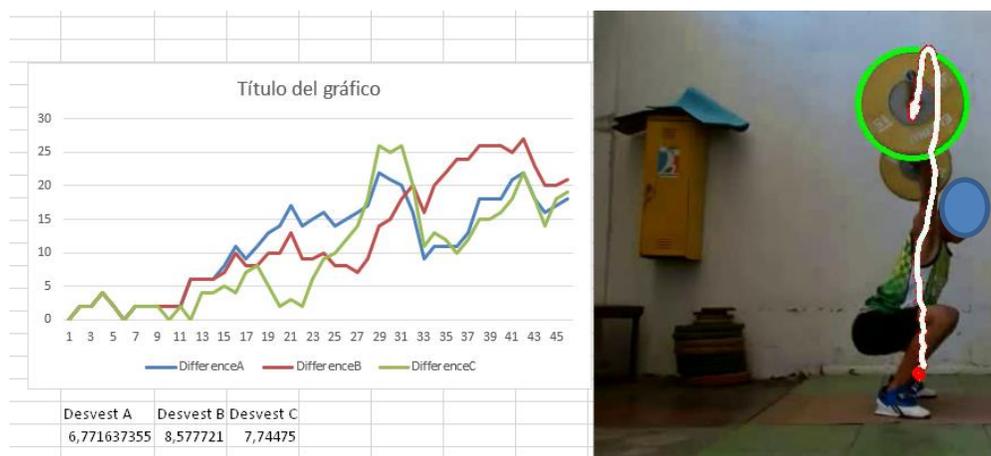
Trayectoria	Frecuencia
Trayectoria A	14
Trayectoria B	13
Trayectoria C	30
Total	57

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 34 se presenta la clasificación realizada por el sistema como A la cual fue validada y corroborada por el entrenador. Se observa que, en este levantamiento, la etapa del primer halón es realizada en el mismo eje. A diferencia de la trayectoria de referencia A donde se trae hacia el cuerpo. El sujeto encuestado lleva 60 meses de experiencia siendo esta la única trayectoria de tipo A de las 3 grabadas.

Figura 33

Trayectoria Clasificada Como A Por El Sistema

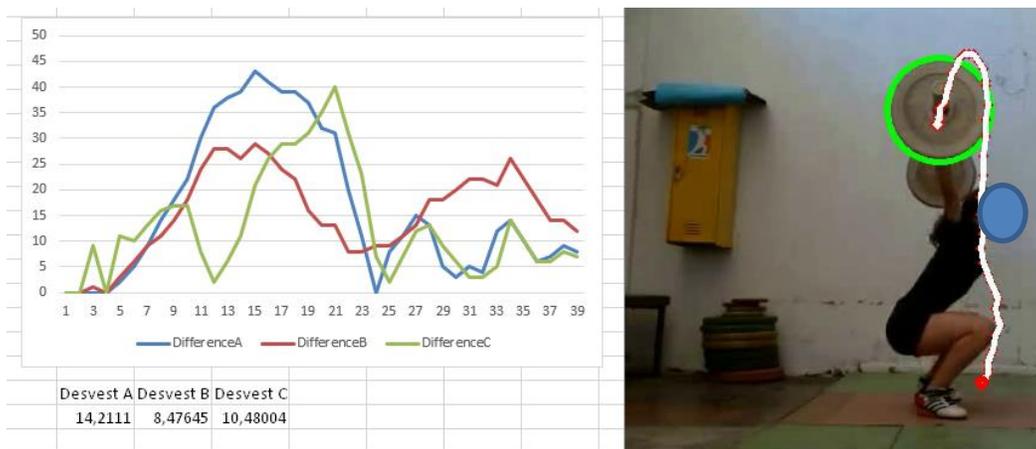


Nota. Elaboración propia

En la Figura 35, se presenta la clasificación realizada por el sistema como B la cual fue validada y corroborada por el entrenador. El sujeto cuenta con 12 meses de experiencia y se clasificaron 2 de sus 3 levantamientos de trayectoria B

Figura 34.

Trayectoria Clasificada Como B Por El Sistema



Nota. Elaboración propia.

En la figura 36, se presenta la clasificación realizada por el sistema como C la cual fue validada y corroborada por el entrenador. El deportista tiene 144 meses de experiencia en el levantamiento de pesas.

Figura 35

Trayectoria Clasificada Como C Por El Sistema

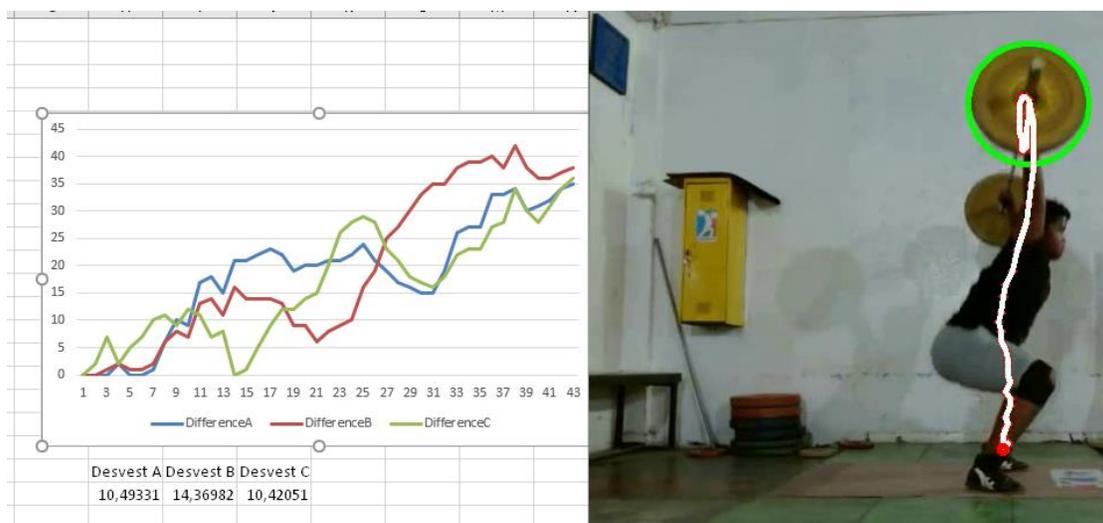


Nota. Elaboración propia.

Referente a los datos de las encuestas, se tiene que la mayoría de los encuestados se encuentran entre los 13 a 24 años de edad. El 57.9% de los encuestados cuentan con hasta 24 meses de experiencia en el deporte. Se logró observar que la mayoría de los participantes fueron clasificados con un tipo de trayectoria C, sin embargo, se debe observar a la desviación estándar de las trayectorias ya que, aunque se clasifique como de trayectoria C, se observan errores en algunas de las técnicas de los deportistas (Figura 37).

Figura 36

Valor Elevado De Desviación Estándar En Trayectoria C



Nota. Elaboración propia

Con el gráfico de la distribución normal (Figura 37) de las desviaciones estándar obtenidas, se puede decir que entre más alejada se encuentre la trayectoria a la referencia y si además se clasifica como A o B, el deportista tiene oportunidades de mejora con respecto a la técnica.

Las trayectorias obtenidas y la clasificación dadas fueron luego validados por el docente a cargo de los practicantes el cual analizó 9 movimientos, las conclusiones y comentarios obtenidos por las trayectorias trazadas, concuerdan con la clasificación obtenida por el sistema.

En la tabla 17 se muestra la calificación dada por los deportistas al sistema desarrollado para clasificación de trayectorias y mejora de la técnica.

Tabla 9

Calificación Obtenida Del Sistema (De 1 A 10)

Preguntas	Calificación promedio
¿El prototipo en general ayuda a identificar la trayectoria trazada por la barra en el plano sagital (lateral)?	9,579
¿Consideras que la realimentación visual ayuda a mejorar la técnica del practicante?	9,737
¿Qué tanto se adapta el dispositivo en el entorno donde se realiza el deporte?	9,158
¿Qué tan intrusivo es el dispositivo al momento de su uso?	8,737
¿Qué tan importantes considera que son los datos suministrados por el sistema?	9,474
¿Consideras que el sistema logra seguir la trayectoria del practicante?	9,632
¿Consideras que el sistema logra clasificar la trayectoria del practicante?	9,316
Según su criterio, considera que la mejora de la técnica mediante el uso del sistema, ¿ayuda a prevenir lesiones en la rodilla?	8,053

Nota. Elaboración propia

Se puede observar que tuvo una buena aceptación, sin embargo, se observa que con menor grado de aceptación se acuerda con que el sistema permita la prevención de lesiones específicamente en la rodilla.

6. Capítulo 6: Conclusiones

De las trayectorias A, B y C trazadas por la barra en el movimiento de arranque definidas por los autores, se corrobora que la C es la que menos costo en potencia y torque posee en comparación a las demás definiendo esta como la trayectoria deseada.

Es posible usar la transformada de Hough aplicando el filtro gaussiano, de media y estableciendo una región de interés para realizar el seguimiento de la trayectoria de la barra detectando los discos colocados en esta. Además, es posible realizar la clasificación de las trayectorias trazadas en el plano sagital en el movimiento de arranque usando la desviación estándar de los valores obtenidos de la diferencia entre la trayectoria del usuario y la trayectoria de referencia.

De los 57 movimientos evaluados por el sistema, 14 movimientos se clasificaron como trayectoria A, 13 se clasificaron como trayectoria B, 30 se clasificaron como trayectoria C. Se resalta observar el valor obtenido en la desviación estándar entre la trayectoria trazada por el deportista y la trayectoria de referencia ya que esta variable muestra que tan dispersos estuvieron los datos de la trayectoria de referencia por lo que se puede usar también y en complemento a la clasificación de trayectorias como indicador de fallas en la técnica y oportunidades de mejora.

Referente al sistema, según los datos suministrados por la encuesta, se encontró que el sistema logra hacer el seguimiento de la barra por medio de los discos de manera satisfactoria, sin embargo, con un grado menor de confianza se clasifica de forma correcta la trayectoria en un 93.3%. 95.8% de los participantes consideran que la realimentación dada por el software ayuda a mejorar la técnica de arranque. El sistema

no fue considerado intrusivo en un 87.37%. Se considera que el dispositivo logra clasificar correctamente las trayectorias en un 93.16%. Durante la práctica se logró encontrar que los participantes observaban detenidamente las trayectorias trazadas y realizaban cambios en sus siguientes levantamientos reafirmando la información existente en la bibliografía donde se relaciona la realimentación de sistemas ópticos con la mejora de la técnica.

7. Recomendaciones y trabajos futuros

El uso de una segunda cámara en el plano frontal permitiría obtener los ángulos de las articulaciones y así complementar los datos suministrados por la cámara en el plano sagital. Para la trayectoria de la barra en el plano sagital, realizando el entrenamiento de redes neuronales, se puede marcar las etapas respectivas del movimiento.

Se podría comprobar la relación entre la distancia de la trayectoria de la barra trazada en el plano sagital por el deportista y la trayectoria de referencia con la mala ejecución del movimiento de arranque. Además, incorporar sensores de carga para suministrar mayor información sobre la potencia y toque generado por el sistema musculoesquelético.

8. Referencias

- Alvarez Hinojosa, A., & Nuñez Othón, G. (2014). *Análisis de la efectividad de la técnica de arranque a partir de la trayectoria de la barra en las campeonas de universidad nacional 2013*. <http://repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/2552>
- Barrero Malagón, D. Y. (2018). *Análisis dinámico del movimiento Snatch enfocado en la rodilla* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40431/u808387.pdf?sequence=1>
- Bharatesh Chakravarthi, S. B., Mfitumkiza, J., Chen, S., Seong, H. K., & Young, H. C. (2019). *Quaternions Based Intuitive Visualization for Tracking Weightlifting Exercises*. https://www.researchgate.net/publication/343788012_Quaternions_Based_Intuitive_Visualization_for_Tracking_Weightlifting_Exercises_yeogdo_undong_gwedo_chuj_eog-eul_wihan_kwoteonion_giban-ui_jiggwanjeog-in_sigaghwa_jeoja_Authors
- Campos Granell, J., & Rabadé Espinosa, J. J. (2009). Análisis cinemático de la trayectoria de la barra en la Arrancada y su relación con el rendimiento. *Apunts Educación Física y Deportes*, 59–65. https://www.researchgate.net/publication/259466177_Analisis_cinematico_de_la_trayectoria_de_la_barra_en_la_Arrancada_y_su_relacion_con_el_rendimiento
- Castro Molina, P. (2005). *Manual de capacitación en iniciación deportiva en levantamiento de pesas* (Vol. 1). Servisport LTDA. <http://www.treinamientoesportivo.com/wp-content/uploads/2010/12/Levantamiento-de-Pesas.pdf>
- Chatzitofis, A., Vretos, N., Zarpalas, D., & Daras, P. (2013). Three-dimensional monitoring of weightlifting for computer assisted training. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/2466816.2466820>
- Colombia, B., Mejía, J., & López Varona, R. (2014). Calibración de Cámara Termográfica Fluke TI-32. *Scientia Et Technica*, 19(1), 59–66. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84930900010>
- Gausemeier, J., & Moehring, S. (2002). VDI 2206- A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 35(2), 785–790. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)34035-1](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)34035-1)
- Giraldo Valencia, D. A., Martínez Guayazán, S. F., & Gutiérrez Velásquez, Y. F. (2021). *Prevalencia de lesiones en deportistas de halterofilia en Colombia*. <https://repositorio.iberu.edu.co/handle/001/1171>
- Ho, K. W. L., Williams, M. D., Wilson, C. J., & Meehan, D. L. (2011). Using three-dimensional kinematics to identify feedback for the Snatch: a case study. *Journal of strength and conditioning research*, 25(10), 2773–2780. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31820F500E>
- Ho, L. K., Lorenzen, C., Wilson, C. J., Saunders, J. E., & Williams, M. D. (2014). Reviewing current knowledge in snatch performance and technique: the need for future directions in applied research. *Journal of strength and conditioning research*, 28(2), 574–586. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31829C0BF8>

- Horna López, F. V., & Tarís Ramos, L. M. (2012). *Escuela superior politécnica de Chimborazo facultad de informática y electrónica escuela de diseño gráfico diseño e implementación de un sistema alternativo de captura de movimiento para efectos visuales*. Caso práctico. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/2908/1/88T00052.pdf>
- Hughes, G., & Watkins, J. (2006). A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(5), 411–428. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636050-00004>
- IWF. (2020). *Technical and competition rules & regulations* (T. Aján, A. Ádámfi, R. Chinen, S. Coffa, M. Lassen, Lencsér. Mátyás, P. Sanchez, A. Németh-Mora, & N. Vlad, Eds.). The international Weightlifting federation. https://iwf.sport/wp-content/uploads/downloads/2020/01/IWF_TCR_2020.pdf
- Játiva, G. S. A., Bravo, D. X. C., & Frómeta, E. R. (2021). Diferencias biomecánicas en la técnica de arranque en halterofilia entre deportistas elite y novatos. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 26(280), 133–146. <https://doi.org/10.46642/efd.v26i280.3170>
- Llerena Navarrete, C. A., Hermoza Aguirre, M. A., & Coral Apolo Gabriel Excehomo. (2022, enero 25). Diferencias biomecánicas de la técnica del snatch en la halterofilia, categorías de iniciación y desarrollo. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 75–93. <https://efdeportes.com/efdeportes/index.php/EFDeportes/article/view/3340/1552>
- Mendoza, H. (2019, marzo 19). *PLANO SAGITAL – PLANOS ANATOMICOS*. <https://biomecanica111996258.wordpress.com/2019/03/18/plano-sagital/>
- Myer, G. D., Quatman, C. E., Khoury, J., Wall, E. J., & Hewett, T. E. (2009). Youth Versus Adult “Weightlifting” Injuries Presenting to United States Emergency Rooms: Accidental Versus Nonaccidental Injury Mechanisms. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 23(7), 2054. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181B86712>
- Nejadian, S. L., Rostami, M., & Naghash, A. (2010). Cost evaluation of different snatch trajectories by using dynamic programming method. *Procedia Engineering*, 2(2), 2563–2567. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2010.04.032>
- Ortiz Zamora, F. G. (2002). Procesamiento morfológico de imágenes en color: aplicación a la reconstrucción geodésica. *Fundación Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/10053>
- Paay, J., Kjeldskov, J., Sorensen, F., Jensen, T., & Tirosh, O. (2019). Weight-mate: Adaptive training support for weight lifting. *PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 95–105. <https://doi.org/10.1145/3369457.3369466>
- Pedersen Kjeldgaard, J. S. (2007). Circular Hough Transform. *Aalborg University, Vision, Graphics, and Interactive Systems*. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=27621c8db35f7ea1ae6ba495e2dac214e1e84b74>
- Pérez Orozco, M. A. (2020). *Comparación de la trayectoria de la palanqueta durante el movimiento de arranque entre atletas varones de halterofilia y crossfit de 18 a 28 años en diferentes centros de entrenamiento del valle de los chillos en el periodo*

- febrero-marzo 2020 [Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/18466>
- Raicu, C. C., Serițan, G. C., Enache, B. A., & Stănculescu, M. (2021). Development approach model for automotive headlights with mixed delivery methodologies over appq backbone. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(22).
<https://doi.org/10.3390/APP112210581>
- Ribeiro, T. H., & Horn Vieira, M. L. (2016). MOTION CAPTURE TECHNOLOGY-BENEFITS AND CHALLENGES. *International Journal of Innovative Research in Technology & Science*, 4, 48–49. <http://ijirts.org/volume4issue1/IJIRTSV4I1009.pdf>
- Robert-Lachaine, X., Mecheri, H., Muller, A., Larue, C., & Plamondon, A. (2020). Validation of a low-cost inertial motion capture system for whole-body motion analysis. *Journal of Biomechanics*, 99, 109520.
<https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2019.109520>
- Roca Peña, J. P. (2018). *Caracterización de la trayectoria de la barra durante el Arranque en atletas de la liga Risaraldense de levantamiento de pesas*.
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/9428>
- Salazar, L. G., Herrera, M. J. L., & Villalba, A. V. (2007). Factores de riesgo posturales dinámicos y de la ejecución técnica para lesiones osteomusculares en levantadores de pesas. *Educación Física y Deporte*, 26(1), 61–69.
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/educacionfisicaydeporte/article/view/227>
- Silva Tumaili, L. E., & Loaiza Dávila, E. (2017). *Análisis biomecánico de la cargada olímpica en la halterofilia y su incidencia en el nivel competitivo*.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4307>
- Snowell, A. (2017, mayo 23). *Rotate image and crop out black borders*. Rotate image and crop out black borders - StackOverflow.
- Tarazona, O., & Vega, B. (s/f). EJE 3 Pongamos en práctica ANÁLISIS NÚMÉRICO. *Areandina*, 5–5. Recuperado el 18 de junio de 2023, de https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/3178/RP_eje3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Varillas Marín, A. (2002). *Uso de la halterofilia en los deportes*.
<https://www.efdeportes.com/efd48/haltero.htm>
- Velasquez, A. (2021). *La gestión pública de la halterofilia como identidad en las instituciones de educación superior en Colombia*.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/22218>
- Villaquirán, A. F., Portilla Dorado, E., & Vernaza, P. (2016). Caracterización de la lesión deportiva en atletas caucanos con proyección a Juegos Deportivos Nacionales. *Universidad y Salud*, 18(3), 541. <https://doi.org/10.22267/RUS.161803.59>
- Voinea, G. D., Butnariu, S., & Mogan, G. (2017). Measurement and Geometric Modelling of Human Spine Posture for Medical Rehabilitation Purposes Using a Wearable Monitoring System Based on Inertial Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(1).
<https://doi.org/10.3390/S17010003>
- Yuen, H., Princen, J., Illingworth, J., & Kittler, J. (1990). Comparative study of Hough Transform methods for circle finding. *Image and Vision Computing*, 8(1), 71–77.
[https://doi.org/10.1016/0262-8856\(90\)90059-E](https://doi.org/10.1016/0262-8856(90)90059-E)

Zissu Boldur, M., Aguado Jodár, X., & Gonzáles Gallego, J. (2011). Biomecánica del arranque en el levantamiento de pesas (novedades en la mecánica del levantamiento de pesas - modalidad arranque, en sujetos latinoamericanos). <https://revistas.udea.edu.co/index.php/expomotricidad/article/view/331852>

9. Anéxos

Encuesta



La encuesta tomará aproximadamente 5 minutos para ser completada.

¡Hola!

Estamos trabajando en un estudio que servirá para aportar evidencia en el uso de un dispositivo para clasificar trayectorias trazadas por la barra (plano sagital/lateral) en modalidad snatch. Quisiéramos pedir tu ayuda para contestar algunas preguntas que no tomarán más de cinco minutos.

Las opiniones de todos los encuestados serán agrupadas y los resultados serán mostrados, pero nunca se comunicarán datos individuales. Tus respuestas serán anónimas y absolutamente confidenciales.

Te pedimos que contestes este cuestionario con la mayor sinceridad posible. Si no puedes contestar una pregunta o si la pregunta no tiene sentido para ti, por favor pregunta a la persona que te entregó este cuestionario No hay respuestas correctas ni incorrectas.

¡Muchas gracias por tu colaboración!

- Si deseas conocer los resultados finales, digita a continuación tu correo electrónico.

- C
6. ¿Qué tanto se adapta el dispositivo en el entorno donde se realiza el deporte? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Es muy molesto Es imperceptible

7. ¿Qué tan intrusivo es el dispositivo al momento de su uso? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

No permite hacer el ejercicio Es imperceptible

8. ¿Qué tan importantes considera que son los datos suministrados por el sistema?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Nada importantes Muy importantes

9. ¿Consideras que el sistema logra seguir la trayectoria del practicante?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

No cumple Lo cumple

10. ¿Consideras que el sistema logra clasificar la trayectoria del practicante?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

No es efectivo Es muy efectivo

- B
1. ¿Cuál es tu sexo biológico? *
- Femenino
 Masculino

2. ¿Podrías indicarme tu edad? *

- Menor de 12 años
 De 13 a 16 años
 De 17 a 20 años
 De 21 a 24 años
 De 25 a 28 años
 De 29 a 32 años
 Mayor de 33 años

3. ¿Cuántos meses de experiencia llevas en deportes relacionados al levantamiento de pesas? *

Digita en números porfa

4. ¿El prototipo en general ayuda a identificar la trayectoria trazada por la barra en el plano sagital (lateral)? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

5. Consideras que la realimentación visual ayuda a mejorar la técnica del practicante? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

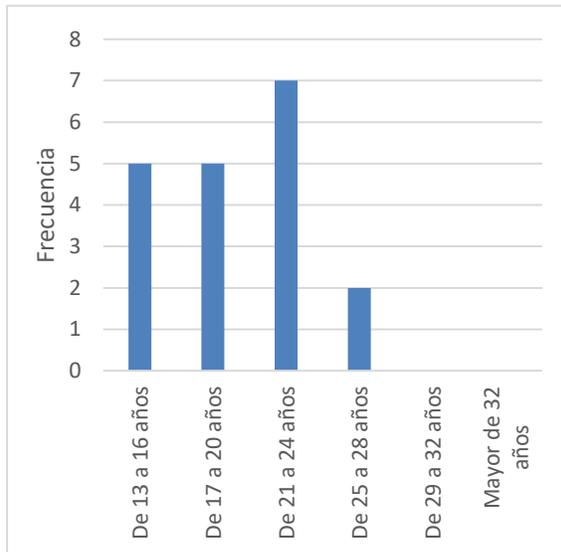
- D
11. ¿Según su criterio, considera que la mejora de la técnica mediante el uso del sistema, ayuda a prevenir lesiones en la rodilla?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

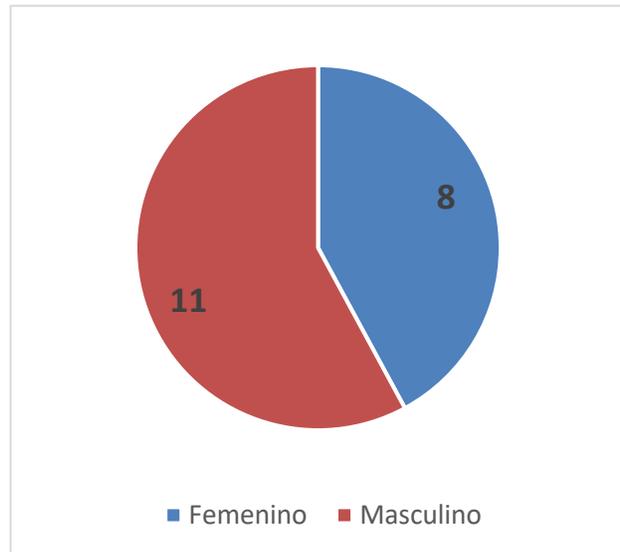
No es efectivo Es muy efectivo

Gráficos de los resultados obtenidos en las encuestas

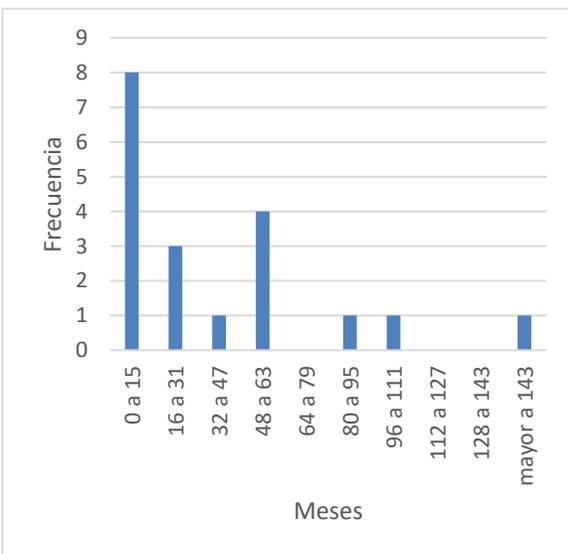
Rango de edad de los participantes



Frecuencia de género de los participantes



Experiencia de los encuestados



Clasificación de las trayectorias grabadas

