

Sistema de visión artificial para la identificación de ejecución de ejercicios físicos

Hamilton Stheven Silva Amado

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería

Tunja, Boyacá

2024

Sistema de visión artificial para la identificación de ejecución de ejercicios físicos

Hamilton Stheven Silva Amado

Director:

Ingeniero Camilo Ernesto Pardo Beainy

Codirector:

Ingeniero Edgar Andrés Gutiérrez Cáceres

Universidad Santo Tomas

Facultad de Ingeniería

Tunja, Boyacá

2024

Tabla de Contenido

1. Título	8
2. Introducción	8
3. Planteamiento del problema	9
3.1. Formulación de Preguntas.....	9
3.2. Formulación del Problema	10
3.3. Delimitación del Problema.....	11
4. Justificación	12
5. Objetivos	14
5.2 Objetivo General	14
5.3. Objetivos específicos	14
6. Marco Teórico y Estado del Arte	15
6.1. Visión Artificial	15
6.2. Visión Artificial en la práctica del Deporte	17
6.4. Estimación de pose humana	19
6.5. Modelos de estimación de pose	21
6.6. Aplicaciones de la visión artificial en el deporte	23
6.7. MediaPipe para la estimación de pose	26
6.8. Fisiculturismo y Técnica de Ejercicios	26

	4
6.9. Sentadillas (Squats)	28
6.10. Peso Muerto (Deadlift):	29
6.11. Pull-Ups:.....	30
6.12. Curl de Bíceps (Bicep Curl):	31
6.13. Levantamiento Lateral de Hombros (Lateral Raises):.....	33
7. Desarrollo del proyecto.....	34
7.1. Recolección de Datos	35
7.2. Preprocesamiento de Datos	36
7.3. Desarrollo del Modelo de Visión Artificial	37
7.4. Diseño de la interfaz de usuario	37
7.5. Pruebas y Evaluación.....	37
7.6. Consideraciones Éticas	37
7.7. Desarrollo de los Scripts	38
<i>7.7.1. Script de Detección de Ejercicios.....</i>	<i>38</i>
<i>7.6.2. Script de Interfaz gráfica.....</i>	<i>42</i>
<i>7.6.3 Diagrama de Flujo</i>	<i>45</i>
8. Análisis de resultados y discusión.....	47
9. Conclusiones y trabajos futuros	60
10. Referencias Bibliográficas	62
Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

Tabla de Figuras

Figura 1. Modelamiento de Visión Artificial	16
Figura 2. Estimación de pose y detección de objetos.	18
Figura 3. Resultados de Pose Tutor.....	20
Figura 4. Estimation de pose 2D.....	21
Figura 5. Modelos de estimación de pose.....	22
Figura 6. Modelo de puntos de referencia de pose MediaPipe.....	26
Figura 7. Squats	28
Figura 8. Deadlift.....	29
Figura 9. Pull-Ups.....	30
Figura 10. Bicep Curl.....	32
Figura 11. Lateral Raises.....	33
Figura 12. Diagrama de Arquitectura.....	35
Figura 13. Llamado de objetos MediaPipe	38
Figura 14. Creación de variables globales	39
Figura 15. Calcular ángulos.....	39
Figura 16. Detección de ángulos.....	40
Figura 17. Muestra de resultados	41
Figura 18. Función principal	42
Figura 19. Llamado de Scripts.....	43
Figura 20. Creación de interfaz gráfica	43
Figura 21. Creación de interfaz gráfica. Inicio de Detección	44

Figura 22. Creación de interfaz gráfica. Conversión de imagen.....	45
Figura 23. Bucle para iniciar interfaz gráfica.....	45
Figura 24. Diagrama de flujo. Etapas de funcionamiento del software	46
Figura 25. Recolección de Datos	48
Figura 26. Ambiente de gimnasio	48
Figura 27. Ambiente de fondo blanco	49
Figura 28. Procesamiento de datos.....	50
Figura 29. Pruebas modelo Pre-entrenado	50
Figura 30. Puntos clave para calcular el ángulo del codo	51
Figura 31. Puntos clave para calcular el ángulo del hombro.....	52
Figura 32. Puntos clave para calcular el ángulo de la cadera	52
Figura 33. Puntos clave para calcular el ángulo de la rodilla	53
Figura 34. Prueba de ángulos.....	58
Figura 35. Interfaz al detectar usuario	59
Figura 36. Interfaz al no detectar usuario	59

Tabla de Tablas

Tabla 1. Puntos clave para cálculo de ángulos	53
Tabla 2. Rango de movimiento (Curl Right).....	54
Tabla 3. Rango de movimiento (Curl Left).....	55
Tabla 4. Rango de movimiento (Bar Curl).....	55
Tabla 5. Rango de movimiento (Squat)	56
Tabla 6. Rango de movimiento (Deadfilit)	56
Tabla 7. Rango de movimiento (Lateral Raises)	57
Tabla 8. Rango de movimiento (Pull Ups).....	57

1. Título

Sistema de visión artificial para la identificación de ejecución de ejercicios físicos

2. Introducción

En el ámbito del entrenamiento físico y el fitness, la corrección precisa de la técnica en los ejercicios desempeña un papel crucial para lograr resultados efectivos y prevenir lesiones. Según el artículo “Using Learnable Physics for Real-Time Exercise Form Recommendations” realizado por (Jaiswal et al., 2023) la supervisión individualizada por parte de entrenadores se ve limitada por restricciones de tiempo y recursos disponibles en entornos de gimnasio. Ante este desafío, la integración de tecnologías emergentes como la visión artificial y el análisis de imágenes se presenta como una solución prometedora.

La detección automatizada de ejercicios mediante visión artificial ofrece la posibilidad de abordar este problema central, permitiendo una supervisión precisa y eficaz de la ejecución de los ejercicios en tiempo real. Sin embargo, hasta el momento, la ausencia de una solución eficiente y precisa para monitorear la técnica de ejercicios en entornos de gimnasio ha limitado la optimización del progreso y la seguridad de los usuarios. (Jaiswal et al., 2023)

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un sistema basado en visión artificial con la capacidad de reconocer y analizar la ejecución de ejercicios en gimnasios. Esto permitirá mejorar la calidad del entrenamiento, maximizar los beneficios para los usuarios y reducir el riesgo de lesiones. El enfoque se centra en la implementación de un sistema de detección de ejercicios en gimnasios mediante visión artificial, que será capaz de identificar y categorizar diversos tipos de ejercicios realizados por los usuarios, analizando su técnica y ejecución en tiempo real.

Para alcanzar este objetivo, será necesario abordar una serie de desafíos técnicos y prácticos asociados con la detección precisa de ejercicios en distintos contextos y posiciones. La investigación se enfocará en proporcionar una solución efectiva y precisa que fomente la confianza y comodidad de los usuarios en entornos de gimnasio.

En resumen, este proyecto se presenta como una contribución significativa al campo del fitness y el entrenamiento físico, al ofrecer una herramienta innovadora que mejore la supervisión de la técnica de ejercicios y optimice los resultados del entrenamiento.

3. Planteamiento del problema

En el contexto actual, la monitorización y rectificación de la técnica empleada en los ejercicios realizados en centros de entrenamiento constituyen elementos de vital importancia para maximizar los resultados físicos y prevenir posibles lesiones. A pesar de ello, la atención personalizada por parte de instructores puede conllevar costos significativos y presentar limitaciones en cuanto a disponibilidad. En este sentido, la incorporación de la visión artificial y el análisis de imágenes emerge como una vía innovadora para abordar esta problemática. La automatización en la identificación de movimientos de ejercicios mediante la visión artificial podría representar una manera eficaz y precisa de supervisar y corregir la ejecución de los ejercicios en el entorno dinámico de un gimnasio.

3.1. Formulación de Preguntas

Las siguientes preguntas guiarán la investigación sobre la detección de ejercicios de gimnasio utilizando visión artificial:

- ¿Qué características visuales y datos son esenciales para entrenar un modelo de visión artificial que pueda evaluar con precisión la ejecución de distintos ejercicios?
- ¿Cuáles son los posibles beneficios y limitaciones al implementar un sistema de detección de ejercicios mediante visión artificial en términos prevención de lesiones para los usuarios?

3.2. Formulación del Problema

En el ámbito del entrenamiento físico y el fitness, la corrección adecuada de la técnica en los ejercicios es fundamental para alcanzar resultados eficientes y evitar lesiones. No obstante, la supervisión individualizada por parte de entrenadores suele estar limitada por restricciones de tiempo y recursos disponibles. La integración de tecnologías emergentes, como la visión artificial y el análisis de imágenes, ofrece la posibilidad de abordar este desafío. La detección automatizada de ejercicios mediante visión artificial podría presentar una solución precisa y eficaz para supervisar y mejorar la ejecución de ejercicios en gimnasios. El problema central de esta investigación radica en la ausencia de una solución eficiente y precisa para monitorear en tiempo real la técnica de ejercicios en entornos de gimnasio, lo que limita la optimización del progreso y la seguridad de los usuarios. Este problema es especialmente relevante en entornos donde un único instructor no puede supervisar a todos los individuos simultáneamente, como se señala en proyectos similares que abordan la necesidad de sistemas de monitoreo automatizados para fisicoculturistas, los cuales utilizan tecnología como Kinect para capturar y analizar en tiempo real la posición de las articulaciones en tres dimensiones, asegurando una ejecución correcta de los ejercicios y previniendo consecuencias negativas a corto o largo plazo (Martínez José, 2018). La carencia de una herramienta automatizada capaz de

identificar y evaluar de manera adecuada diversos tipos de ejercicios realizados por los usuarios obstaculiza la optimización de los resultados de entrenamiento y la prevención de posibles lesiones derivadas de ejecuciones incorrectas. Para abordar este problema, se propone la implementación de un sistema basado en visión artificial con la capacidad de reconocer y analizar la ejecución de ejercicios en gimnasios. Sin embargo, alcanzar una solución efectiva requerirá abordar desafíos técnicos y prácticos vinculados con la precisa detección de ejercicios en distintos contextos y posiciones. En resumen, este proyecto se concentrará en desarrollar un sistema de detección de ejercicios en gimnasios mediante visión artificial, con el propósito de mejorar la calidad del entrenamiento, maximizar los beneficios para los usuarios y reducir el riesgo de lesiones. La investigación abordará desafíos técnicos para proporcionar una solución efectiva y precisa que fomente la confianza y comodidad de los usuarios en entornos de gimnasio.

3.3. Delimitación del Problema

- **Tipo de Ejercicios:** Esta investigación se centrará en la detección de ejercicios de gimnasio que involucren movimientos y técnicas específicas, tales como levantamiento de pesas, flexiones, abdominales y sentadillas. Los ejercicios altamente complejos o aquellos que requieran un equipo especializado quedarán fuera del alcance.
- **Entorno de Gimnasio:** La detección de ejercicios se llevará a cabo en un entorno de gimnasio estándar. No se considerarán otros entornos o escenarios de ejercicio, como actividades al aire libre o deportes específicos.

- **Variedad de Usuarios:** Si bien se considerarán diferentes usuarios en términos de habilidades y características físicas, no se abordarán problemas específicos relacionados con condiciones médicas individuales o discapacidades.
- **Hardware Utilizado:** Se utilizará hardware y tecnología disponibles comercialmente para implementar la detección de ejercicios. No se desarrollará hardware personalizado ni se abordarán detalles técnicos avanzados de los componentes de hardware.

4. Justificación

De acuerdo con algunos estudios de investigación revisados mencionados a continuación, se puede concluir que la implementación de un sistema de detección de ejercicios de gimnasio mediante visión artificial tiene el potencial de generar diversos impactos en áreas sociales, económicas y medioambientales, proporcionando una solución innovadora para abordar los desafíos actuales en el ámbito del fitness y el entrenamiento.

Impacto Social: La detección de ejercicios por medio de visión artificial podría democratizar el acceso a la corrección técnica y al seguimiento personalizado en el entrenamiento físico. Esto permitiría a una mayor cantidad de personas beneficiarse de una supervisión precisa y constante durante sus sesiones de ejercicios, independientemente de su nivel de experiencia o ubicación geográfica. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el acceso a la actividad física regular puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y algunos tipos de cáncer. Al hacer que la supervisión técnica sea más accesible, más individuos podrían aprovechar estos beneficios para su salud a largo plazo. (*OPS/OMS Organización Panamericana de la Salud, 2019*)

Impacto Económico: La adopción de tecnologías de visión artificial en entornos de gimnasio podría optimizar los recursos económicos al reducir la necesidad de supervisión personalizada por parte de entrenadores. Esto podría permitir a los gimnasios ofrecer servicios de mayor calidad a un costo potencialmente menor, lo que a su vez podría atraer a un mayor número de clientes. Un estudio publicado en la Revista de Economía del Deporte encontró que los servicios de entrenamiento personalizado representan un gasto significativo para los gimnasios y los clientes. La implementación de sistemas de detección de ejercicios podría reducir estos costos mientras mantiene o mejora la calidad del servicio. (EAE, 2020)

Impacto Medioambiental: La implementación de sistemas de detección de ejercicios basados en visión artificial podría contribuir al uso eficiente de recursos al optimizar el tiempo de entrenamiento y reducir la posibilidad de lesiones que podrían resultar en un aumento en el consumo de atención médica y recursos asociados. Además, al permitir que las personas realicen ejercicios con una técnica adecuada, se podría reducir la probabilidad de lesiones que podrían limitar la participación en actividades físicas, promoviendo un estilo de vida más activo y saludable. Según el artículo de investigación propuesto por (Leiva et al., 2017) el sedentarismo se asocia a un incremento de factores de riesgo cardiovascular y metabólicos independiente de los niveles de actividad física. El estilo de vida sedentario y las lesiones relacionadas con la actividad física inadecuada contribuyen a problemas de salud y generan un impacto ambiental debido al aumento en la demanda de atención médica.

5. Objetivos

5.2 Objetivo General

Desarrollar un sistema de detección de ejercicios en entornos de gimnasio, utilizando tecnología de visión artificial para identificar y categorizar diversos tipos de ejercicios realizados por los usuarios, analizando su técnica y ejecución en tiempo real.

5.3. Objetivos específicos

- Recolectar un conjunto de datos diversos que contenga imágenes y/o videos de una amplia gama de ejercicios realizados en un entorno de gimnasio.
- Seleccionar y adaptar modelos de visión artificial, como redes neuronales convolucionales (CNN), para reconocer y categorizar los diferentes ejercicios presentes en el conjunto de datos.
- Diseñar una interfaz de usuario interactiva que permita observar la estimación de pose y el ejercicio a realizar.
- Evaluar la capacidad del sistema para analizar en tiempo real la ejecución de los ejercicios, proporcionando retroalimentación visual.

6. Marco Teórico y Estado del Arte

En primera instancia, se realiza una investigación sobre la visión artificial y su práctica en el deporte, la detección de pose mediante inteligencia artificial y la esquelización como áreas cruciales en la intersección de la visión por computadora y la IA.

En segunda instancia, se presenta una revisión detallada de los conceptos fundamentales relacionados con el fisiculturismo y la técnica de ejercicios. Además, se describen ejemplos de ejercicios específicos que pueden ser detectados con facilidad utilizando tecnologías de visión artificial. También se aborda cómo la visión humana y los elementos tecnológicos pueden influir en el desarrollo de un sistema de detección de ejercicios.

6.1. Visión Artificial

La visión artificial es una de las ramas de la inteligencia artificial la cual, mediante la aplicación de diversas técnicas, permite la extracción, procesamiento y análisis de diversos tipos de información a través de imágenes digitales. Esta es una disciplina que abarca todo lo que tiene que ver con la informática, la visión u óptica y la ingeniería como tal. Básicamente el concepto apareció en el intento de que las máquinas fueran capaces de reconocer y relacionar el concepto del ojo humano, es decir que hicieran el mismo o un proceso parecido a la óptica humana.(S & S, 2015).

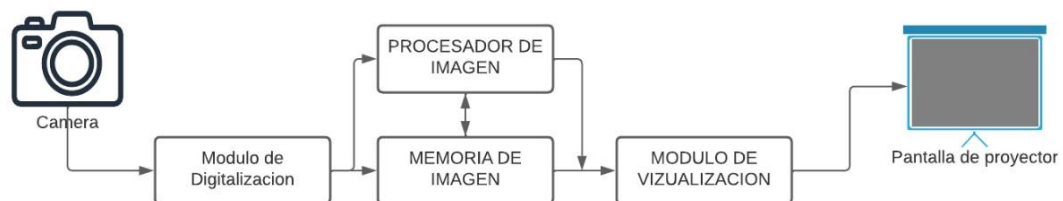
En resumen la visión artificial tiene la capacidad en la actualidad de ver y analizar el mundo real con el fin de tener una percepción en tiempo real de alguna eventualidad y de este modo llegar a una conclusión o escribir datos que posteriormente se llevan a nuevos procesos o segmentaciones para un fin práctico o investigativo, esto se lleva a cabo ya sea en un ambiente óptico 2D o 3D, teniendo en cuenta esto, este es uno de los

sistemas más complejos de y difíciles de concebir, debido a las limitantes de software y a la complejidad del del sistema de visión natural de los seres humanos, en la actualidad aun no es posible imitar completamente todo un sistema de visión humana.(Marcos et al., 2006).(Artificial Intelligence A Modern Approach (3rd Edition).pdf (PDFDrive).pdf, s. f.).

La estimación de la pose humana es una tarea de visión artificial que captura y representa la postura y posición del cuerpo humano de forma gráfica. Este método se usa con frecuencia para predecir las posiciones de las partes y articulaciones del cuerpo humano. Se trata de encontrar y clasificar las poses de las partes y articulaciones del cuerpo humano en imágenes o videos. Se utilizan técnicas basadas en modelos para representar e inferir poses humanas en espacios 2D y 3D. En esencia, esto es un método para obtener un conjunto de coordenadas que describan las articulaciones del cuerpo humano. Las muñecas, los hombros, las rodillas, los ojos, los brazos y los tobillos son los puntos centrales de las imágenes y videos que pueden representar la postura de una persona.

Figura 1.

Modelamiento de Visión Artificial



Nota: *Elaboración Propia*

6.2. Visión Artificial en la práctica del Deporte

La visión artificial es un campo de la inteligencia artificial en constante evolución que se concentra en el desarrollo de sistemas capaces de interpretar y procesar información visual para replicar la capacidad humana de ver y comprender el mundo que nos rodea. Al reconocer patrones de movimiento y áreas problemáticas, la IA puede reducir la incidencia de lesiones en los deportistas. Además, la IA puede ayudar a los entrenadores y fisioterapeutas a crear programas de entrenamiento personalizados que se adapten a las necesidades únicas de cada atleta, mejorando su rendimiento y reduciendo las lesiones. El uso de cámaras y sensores de alta velocidad en la captura de datos ha permitido obtener información más precisa y detallada sobre la biomecánica y el movimiento de los deportistas. Esto ha permitido que los entrenadores y los profesionales de la salud identifiquen rápidamente problemas de movimiento y los corrijan antes de que se conviertan en lesiones más graves. (Mira Abad, 2023)

Muchas personas que inician alguna actividad física lo hacen sin tener conocimientos previos, una certificación por una institución avalada en el ámbito, o un entrenador personalizado preparado. Como resultado, suelen ocurrir eventos contraproducentes a corto o a largo plazo, como lesiones o que el ejercicio no genere los resultados deseados, lo que desmotiva a las personas y les hace perder el interés en seguir ejercitándose. (Martínez José, 2018)

Figura 2.

Estimación de pose y detección de objetos.



Nota: Tomado de modelo de estimación de pose [Imagen] Fiiver, 2023,

https://miro.medium.com/v2/resize:fit:975/1*DTaPdSzIw4rMmD-6hO15rQ.png

Según el artículo titulado “Visión artificial en el fitness: ejemplos” por (Luzniak, 2022) define que la visión artificial (CV) se refiere a la capacidad de una computadora para reconocer, interpretar y convertir imágenes en datos digitales, similar a cómo lo hacen el ojo y el cerebro humanos.

La visión artificial no solo ve y reconoce imágenes, sino que también puede responder a ellas, traduciendo lo que observa en datos utilizables. Esta tecnología puede tomar acciones significativas o hacer recomendaciones avanzadas basadas en lo que detecta la cámara. Con el avance de la IA en los deportes, estamos entrando en una nueva era del fitness y el entrenamiento deportivo.

(Luzniak, 2022) menciona que mediante algoritmos avanzados y capacidades de aprendizaje automático, la visión artificial emplea varios tipos de reconocimiento de imágenes, cada uno desarrollado para funciones específicas o basado en diferentes capacidades analíticas:

- Clasificación: Identifica un objeto en un campo de visión y le asigna una etiqueta única. Ejemplo: Si el usuario debe entrenar con equipo específico (mancuernas, pelota, barra, etc.), el ordenador verifica si sostiene el objeto correcto.
- Segmentación semántica: Asigna una etiqueta a cada píxel de una imagen. Ejemplo: El ordenador detecta el espacio disponible para que el usuario realice los ejercicios y ajusta las recomendaciones.
- Clasificación y localización: Predice la clase de un objeto en una imagen e identifica su ubicación antes de dibujar un cuadro delimitador. Ejemplo: Estimación de la postura; la computadora detecta si el usuario realiza el ejercicio correctamente, pero si hay más de una persona, solo puede detectar un error sin identificar quién lo cometió.
- Detección de objetos: Identifica y localiza objetos en una imagen o vídeo, distinguiéndolos de sus fondos. Ejemplo: Similar al anterior, pero puede analizar a más de un usuario simultáneamente, evaluando el desempeño individual en ejercicios.
- Segmentación de instancias: Detecta y delimita cada objeto y sus instancias en una imagen. Ejemplo: En el entrenamiento de fuerza, verifica el peso utilizado por el usuario y realiza un seguimiento del progreso o ajusta las cargas recomendadas.

6.4. Estimación de pose humana

La detección de pose según el artículo " Pose Tutor: An Explainable System for Pose Correction in the Wild" se centra en la detección y corrección de poses en el contexto de ejercicios físicos como el yoga, pilates y kung fu. Se logra mediante la combinación de modelos de visión y modelos de esqueleto de poses. En primer lugar, se

utiliza un modelo de estimación de poses pre-entrenado para obtener puntos clave de las poses a partir de imágenes. Estos puntos clave se utilizan para generar un "vector de pose" que resume la pose predicha por el modelo de puntos clave. Además, se utiliza un mecanismo de explicación basado en la probabilidad de ángulos para identificar las articulaciones que contribuyeron de manera significativa a la predicción de la clase de pose como se muestra en la figura 3. Esto permite no solo la detección de la pose, sino también la identificación de articulaciones incorrectamente formadas, lo que es crucial para la corrección de las poses. En resumen, la detección de pose en el sistema "Pose Tutor" se logra mediante la combinación de modelos de visión y esqueletos de poses, seguida de una clasificación refinada y una explicación detallada de las predicciones de las poses. (Chu et al., 2022)

Figura 3.

Resultados de Pose Tutor



Nota: Tomado de Pose Tutor [Imagen] CVF, 2023, <https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2022W>

De acuerdo con el proyecto titulado “Mejora del rendimiento deportivo mediante visión artificial” la estimación de la pose humana es una tarea de visión artificial que captura y representa la postura y posición del cuerpo humano de forma gráfica. Este

método se usa con frecuencia para predecir las posiciones de las partes y articulaciones del cuerpo humano.

Se trata de encontrar y clasificar las poses de las partes y articulaciones del cuerpo humano en imágenes o videos. Se utilizan técnicas basadas en modelos para representar e inferir poses humanas en espacios 2D y 3D. En esencia, esto es un método para obtener un conjunto de coordenadas que describan las articulaciones del cuerpo humano. Las muñecas, los hombros, las rodillas, los ojos, los brazos y los tobillos son los puntos principales en las imágenes y videos que pueden representar la postura de una persona.

Figura 4.

Estimation de pose 2D



Nota: Tomado de pose estimation [Imagen] Medium, 2020,

https://miro.medium.com/v2/resize:fit:828/format:webp/1*URFitbiuBPBDTOYj8HPopg.png

6.5. Modelos de estimación de pose

Tres tipos principales de modelos se utilizan para representar el cuerpo humano en planos 2D y 3D (Mira Abad, 2023):

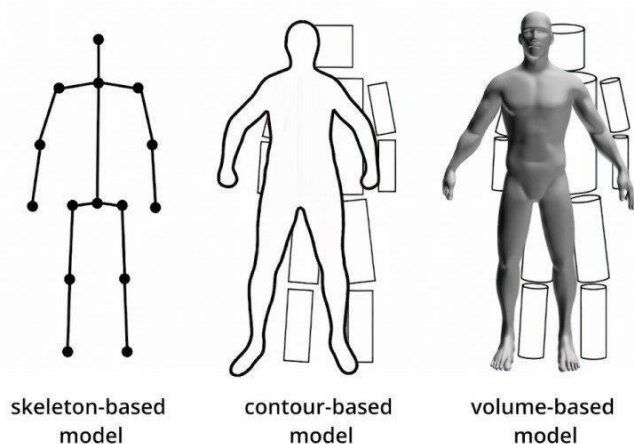
- **Modelo de esqueleto:** Este modelo representativo, también conocido como modelo cinemático, incluye una serie de puntos importantes, como las articulaciones. Este

modelo sencillo y fácil de entender se utiliza con frecuencia para comprender la estructura esquelética del cuerpo humano y comprender las interacciones entre las diversas partes del cuerpo.

- Modelo basado en la forma: también conocido como modelo plano, se usa para estimaciones en dos dimensiones y tiene una forma y anchos aproximados del cuerpo, las extremidades y el torso. La forma y el contorno del cuerpo humano se representan básicamente con rectángulos y límites del contorno.
- El modelo basado en volumen, también conocido como modelo volumétrico, se utiliza para la estimación en tres dimensiones. Para una estimación profunda del cuerpo humano en 3D, se utilizan mallas y geometrías humanas capturadas para representar muchos modelos y formas populares de la pose humana.

Figura 5.

Modelos de estimación de pose



Nota: Tomado de Estimación de pose con IA [Imagen] Unite.AI, 2020,

<https://www.unite.ai/es/estimaci%C3%B3n-de-pose-ai-en-la-aplicaci%C3%B3n-de-fitness/>

6.6. Aplicaciones de la visión artificial en el deporte

La visión artificial está transformando múltiples industrias, incluyendo la salud, la seguridad y especialmente el deporte. En los deportes, los movimientos rápidos y veloces de los jugadores son difíciles de captar a simple vista, pero la visión artificial permite seguir estos movimientos con precisión. Esta tecnología no solo facilita la toma de decisiones en tiempo real durante los partidos, sino que también contribuye al desarrollo de nuevos métodos de entrenamiento y más. Es fundamental para la recopilación de datos, el análisis deportivo y las predicciones. Esta información ha sido consolidada a partir de tres artículos diferentes que abordan diversas aplicaciones recientes de la visión artificial en el ámbito deportivo. A continuación, se detallan algunas de estas aplicaciones:

- **Seguimiento de jugadores:** El seguimiento de jugadores es una de las aplicaciones más comunes de la visión artificial en los deportes. Este proceso consiste en identificar y seguir a uno o varios jugadores mediante cuadros delimitadores o puntos clave. Este seguimiento permite analizar los movimientos de los jugadores y detectar patrones en su comportamiento. Además, la tecnología puede generar información sobre las acciones de los jugadores, como si tienen el balón, si pasan, corren o defienden. También puede sugerir posiciones óptimas para los jugadores, facilitando la mejora del rendimiento al comparar estas sugerencias con las posiciones reales. (*Computer Vision in Sports*, 2023)
- **Seguimiento de la pelota:** El seguimiento de la pelota es crucial en deportes como el tenis, cricket, bádminton, baloncesto, voleibol y fútbol. Los modelos de visión artificial pueden rastrear el movimiento de la pelota en tres dimensiones, identificar el punto exacto donde golpea el suelo y predecir su trayectoria futura. Esto es útil para

detectar la pelota, trazar su trayectoria y predecir los resultados de los juegos.

(Computer Vision in Sports, 2023)

- **Prevención de lesiones:** La visión artificial, especialmente a través de la estimación de la pose, ayuda a los entrenadores a analizar cada movimiento del usuario y proporcionar retroalimentación en tiempo real, lo que previene lesiones durante el ejercicio. Esta tecnología se utiliza para evaluar y corregir posturas en actividades como pilates y yoga, contribuyendo a la seguridad y efectividad del entrenamiento.
(Computer Vision in Sports, 2023)
- **Mejorar la experiencia del espectador:** Las cámaras con visión artificial pueden enfocarse automáticamente en las escenas de acción, mejorando la experiencia del espectador al resaltar momentos clave del juego. También pueden monitorear y analizar las reacciones de los aficionados, generando estadísticas de participación que enriquecen la cobertura del evento. *(Computer Vision in Sports, 2023)*
- **Mejores sesiones de entrenamiento:** La visión artificial es crucial para analizar el rendimiento de los jugadores, seguir a los atletas y destacar fallos en sus técnicas. Los jugadores pueden aprender de sus propios errores y de los de sus oponentes, lo que mejora su rendimiento y habilidades. *(Gural, 2024)*
- **Análisis y estrategia deportiva:** La incorporación de cámaras, sensores, dispositivos portátiles y escáneres de radar y LiDAR permite capturar gran cantidad de información visual. Esta información se organiza y analiza para ofrecer datos valiosos sobre el rendimiento de los jugadores, perfeccionar planes de entrenamiento, detectar talentos y desarrollar estrategias competitivas. La estimación de la postura y el

seguimiento de objetos son tecnologías clave en este análisis detallado, beneficiando a entrenadores y atletas por igual. (Gural, 2024)

- ***Prevención y rehabilitación de lesiones:*** Las técnicas de visión artificial, como la estimación de la postura y la detección de movimiento, permiten identificar acciones que podrían causar lesiones. Estos datos son útiles para entrenadores y equipos médicos al diseñar programas de entrenamiento y acondicionamiento personalizados. En rehabilitación, la visión artificial supervisa el proceso de recuperación para asegurar que los ejercicios se realicen correctamente, reduciendo el riesgo de nuevas lesiones. (Gural, 2024)
- ***Análisis de video automatizado para deportistas:*** El análisis automatizado de videos emplea software de aprendizaje automático y reconocimiento de patrones para extraer datos de secuencias de video de deportistas en acción. Esto permite cuantificar, evaluar y mejorar el rendimiento de los jugadores y equipos. Los entrenadores pueden identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias competitivas basadas en los movimientos de los oponentes. (Boesch, 2023)
- ***Seguimiento del movimiento para mejorar el rendimiento deportivo:*** La visión artificial rastrea los movimientos de los atletas, permitiendo a los entrenadores identificar áreas de mejora y ayudar a los atletas a enfocar su entrenamiento. Además, esta tecnología se utiliza para rastrear el movimiento de las articulaciones y extremidades, mejorando el rendimiento y previniendo lesiones. (Boesch, 2023)
- ***Rendimiento de bateo y lanzamiento de IA:*** En deportes como el críquet y el béisbol, la visión artificial se utiliza para mejorar el bateo y el lanzamiento. Al seguir la trayectoria de la pelota y predecir su ubicación, los jugadores pueden ajustar su

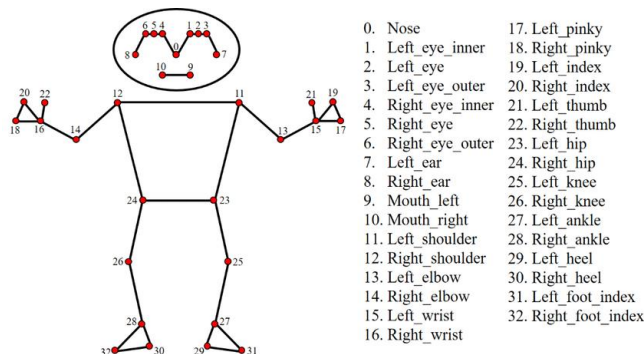
técnica. El rastreo del movimiento de la pelota proporciona información valiosa sobre la mecánica de lanzamiento, mejorando la precisión y el control. (Boesch, 2023)

6.7. MediaPipe para la estimación de pose

MediaPipe es una plataforma para procesar datos multimedia creada por Google Research. Algunos de los componentes predefinidos para el procesamiento de datos multimedia incluyen algoritmos de visión por computadora, detección y seguimiento de objetos, reconocimiento facial y detección de poses humanas. Para crear pipelines de procesamiento personalizados según las necesidades específicas de la aplicación, estos componentes se pueden combinar y usar de manera flexible. *MediaPipe* puede identificar y rastrear con gran precisión 33 puntos importantes del cuerpo humano, como las articulaciones de las manos, los codos, las rodillas como se muestra en la figura 6.

Figura 6.

Modelo de puntos de referencia de pose *MediaPipe*



Nota: Tomado de Pose landmarker model [Imagen] *MediaPipe*, 2023,

https://developers.google.com/static/mediapipe/images/solutions/pose_landmarks_index.png

6.8. Fisiculturismo y Técnica de Ejercicios

Según (Gonzaga Aguilar et al., 2022) El fisiculturismo es una disciplina que va más allá del mero levantamiento de pesas; se trata de un arte que fusiona la ciencia del

entrenamiento con la pasión por el desarrollo físico. Los fisiculturistas se dedican a esculpir su cuerpo, trabajando en la hipertrofia muscular y la definición, con el objetivo de lograr una estética muscular impresionante. Para alcanzar este propósito, los fisiculturistas emplean una variedad de ejercicios diseñados para atacar grupos musculares específicos y mejorar tanto la fuerza como la definición muscular.

La técnica en la ejecución de estos ejercicios desempeña un papel fundamental en la consecución de resultados efectivos y en la prevención de lesiones. (Nespereira, 2002) Cada movimiento se lleva a cabo siguiendo patrones biomecánicos específicos, permitiendo que los músculos objetivo sean activados de manera óptima y evitando la tensión excesiva en articulaciones y tejidos circundantes. La técnica adecuada no solo maximiza la eficacia del entrenamiento al enfocar el esfuerzo en los grupos musculares deseados, sino que también minimiza el riesgo de lesiones a largo plazo. Por esta razón, la corrección y el seguimiento de la técnica son aspectos cruciales en el entrenamiento de fisiculturismo.

Cada ejercicio tiene una mecánica única que debe ser dominada para obtener resultados óptimos. Por ejemplo, las sentadillas (Squats), un ejercicio compuesto, se centran en los músculos de las piernas, especialmente los cuádriceps y los glúteos. La técnica adecuada implica mantener una alineación de la columna vertebral mientras las caderas se desplazan hacia atrás y las rodillas se doblan en un ángulo controlado. El peso muerto (Deadlift), por otro lado, exige un levantamiento correcto desde el suelo, involucrando principalmente los músculos de la espalda baja, los glúteos y los isquiotibiales. (Gonzaga Aguilar et al., 2022; Nespereira, 2002)

Entre los ejercicios más comunes en el fisiculturismo se encuentran:

6.9. Sentadillas (Squats)

Las sentadillas son uno de los ejercicios fundamentales en el fisiculturismo y el entrenamiento de fuerza. Se enfocan principalmente en el desarrollo de los músculos de las piernas, incluyendo los cuádriceps, los glúteos y los isquiotibiales. Este ejercicio también involucra los músculos estabilizadores del core y puede contribuir al fortalecimiento de la columna vertebral como se muestra en la figura 7.

Figura 7.

Squats



Nota: Tomado de Squats [Imagen] MensHealt, 2023, <https://www.thetrendspotter.net/leg-workouts/>

Ejecución del Ejercicio (Paso a Paso):

Comenzar de pie, con los pies a la anchura de los hombros y los dedos de los pies apuntando ligeramente hacia afuera.

- Mantener la espalda recta y el pecho hacia arriba, manteniendo una postura erguida.
- Iniciar el movimiento flexionando las caderas y las rodillas simultáneamente. Imaginar como si se estuviera sentando hacia atrás en una silla imaginaria. Asegurarse de que las rodillas no sobrepasen los dedos de los pies mientras se agacha.

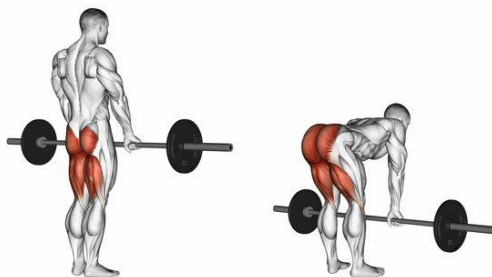
- Continuar bajando hasta que los muslos estén paralelos al suelo o incluso un poco más abajo si se tiene la flexibilidad adecuada.
- Mantener una posición estable y controlada durante la fase descendente.
- Luego, extender las caderas y las rodillas para regresar a la posición inicial. Empujar a través de los talones mientras se sube.
- Mantener el equilibrio y la alineación durante todo el movimiento.

6.10. Peso Muerto (Deadlift):

El peso muerto es un ejercicio fundamental en el fisiculturismo y el entrenamiento de fuerza. Se centra en el desarrollo de los músculos de la espalda baja, los glúteos y los isquiotibiales. Este ejercicio implica levantar una barra desde el suelo hasta una posición de pie, manteniendo la espalda recta y utilizando principalmente la fuerza de los músculos de la espalda baja y los glúteos tal como se muestra en la figura 8.

Figura 8.

Deadlift



Nota: Tomado de Dumbbell Romanian Deadlift [Imagen] *nutritioneering*, 2023,

<https://www.bodybuildingmealplan.com/dumbbell-romanian-deadlift/>

Ejecución del Ejercicio (Paso a Paso):

- Colocar la barra en el suelo frente a ti, con los pies a la anchura de los hombros y los dedos de los pies bajo la barra.
- Agarrar la barra con las manos a una distancia ligeramente mayor que la anchura de los hombros, con un agarre pronunciado o mixto.
- Mantener la espalda recta y el pecho hacia arriba, manteniendo una postura erguida.
- Inclinar las caderas hacia atrás y doblar las rodillas ligeramente mientras agachas el cuerpo para agarrar la barra.
- Mantener la espalda recta y el core apretado mientras levantas la barra, extendiendo las caderas y las rodillas al mismo tiempo.
- Levantar la barra hasta que estés de pie completamente erguido, manteniendo la espalda recta y los hombros hacia atrás.
- Descender la barra controladamente al suelo al invertir el movimiento y manteniendo la espalda recta.
- Repetir el movimiento para el número deseado de repeticiones.

6.11. Pull-Ups:

Los pull-ups, también conocidos como dominadas, son un ejercicio efectivo para trabajar los músculos de la espalda y los brazos.

Figura 9.

Pull-Ups



Nota: Tomado de Pull-Ups [Imagen] Inspire US, 2023, <https://www.inspireusafoundation.org/how-many-pull-ups-can-the-average-man-do/>

Ejecución del Ejercicio (Paso a Paso):

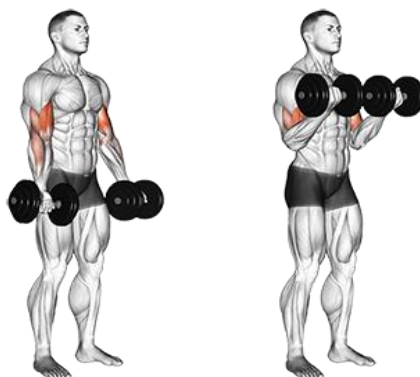
- Colgar de una barra con las manos colocadas a una anchura ligeramente mayor que la de los hombros y las palmas mirando hacia adelante.
- Mantener los brazos completamente extendidos y el cuerpo colgando en una posición relajada.
- Iniciar el movimiento flexionando los codos y tirando del cuerpo hacia arriba. Mantener los codos cerca del cuerpo.
- Continuar subiendo hasta que la barbilla esté por encima de la barra.
- Hacer una pausa en la parte superior del movimiento y luego comenzar a bajar el cuerpo de manera controlada.
- Extender los codos mientras bajas el cuerpo hacia abajo, regresando a la posición inicial.

6.12. Curl de Bíceps (Bicep Curl):

El curl de bíceps (Figura 10) es un ejercicio de aislamiento diseñado para trabajar los músculos de los brazos, específicamente los bíceps. Se realiza levantando pesas o una barra desde una posición inicial con los brazos extendidos hasta la contracción completa de los bíceps.

Figura 10.

Bicep Curl



Nota: Tomado de Biceps [Imagen] Better Body, 2023, <https://www.jasestuart.com/standing-dumbbell-biceps-curl>

Ejecución del Ejercicio (Paso a Paso):

- Comenzar de pie, sosteniendo una pesa en cada mano con los brazos extendidos a los lados y las palmas de las manos mirando hacia adelante.
- Mantener los codos cerca del cuerpo y los antebrazos perpendiculares al suelo.
- Iniciar el movimiento doblando los codos y levantando las pesas hacia los hombros. Mantener los codos en su lugar y evitar usar el impulso del cuerpo.
- Continuar elevando las pesas hasta que los bíceps estén completamente contraídos y las pesas estén cerca de los hombros.
- Hacer una pausa en la parte superior del movimiento y luego comenzar a bajar las pesas de manera controlada hasta la posición inicial.
- Extender los codos mientras bajas las pesas y regresar a la posición inicial con los brazos extendidos.

6.13. Levantamiento Lateral de Hombros (Lateral Raises):

El levantamiento lateral de hombros es un ejercicio que se enfoca en los músculos deltoides laterales, los cuales se encuentran en la parte superior del hombro. Este ejercicio se realiza levantando los brazos hacia los lados para trabajar y fortalecer esta área específica como se muestra en la Figura 11.

Figura 11.

Lateral Raises



Nota: Tomado de *Lateral Raises [Imagen] Better Body, 2023, <https://www.jasestuart.com/standing-dumbbell-lateral-raises>*

Ejecución del Ejercicio (Paso a Paso):

- Comenzar de pie con una pesa en cada mano, los brazos a los lados y las palmas de las manos mirando hacia los muslos.
- Mantener una ligera flexión en los codos durante todo el movimiento para evitar el estrés en las articulaciones.
- Iniciar el ejercicio levantando ambos brazos hacia los lados al mismo tiempo. Los brazos deben estar rectos o ligeramente flexionados en los codos.

- Continuar elevando los brazos hasta que estén aproximadamente paralelos al suelo. Evitar levantarlos más alto para evitar tensión en los hombros.
- Hacer una breve pausa en la posición elevada para sentir la contracción en los deltoides laterales.
- Lentamente, bajar los brazos de regreso a la posición inicial con control. Evitar dejar caer las pesas.

7. Desarrollo del proyecto

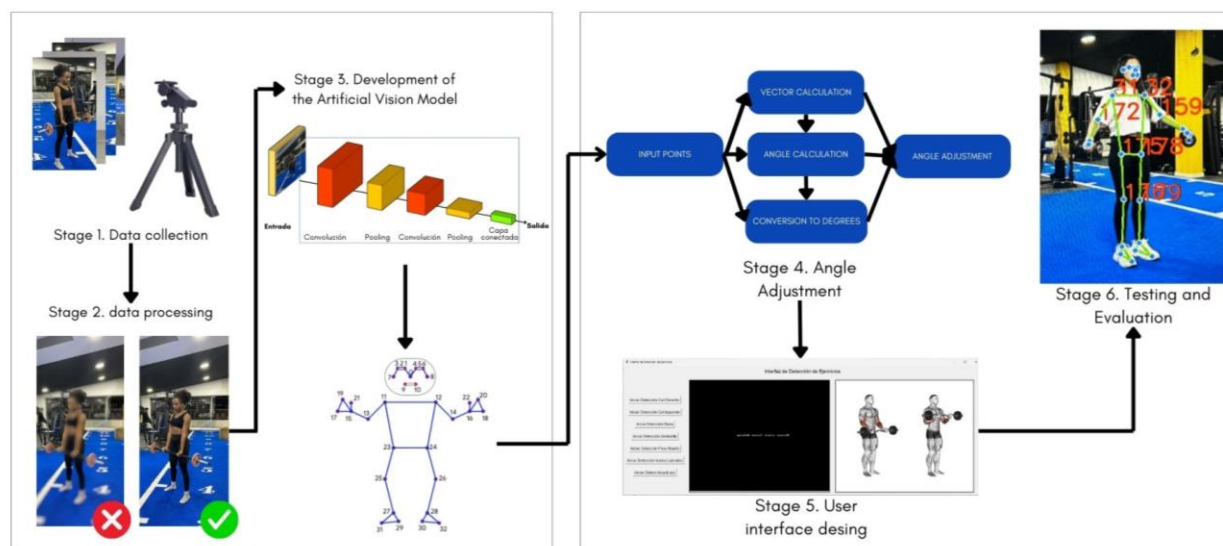
Este Sistema se desarrollara bajo el método de cascada con retroalimentación, ya que al ajustarse a este método se garantiza el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos, de igual manera ajustando así los requisitos necesarios para el uso del usuario, teniendo en cuenta que es necesario tener una recolección de datos prudente para que estos sean procesados correctamente, seguido a esto se podrá desarrollar efectivamente el modelo de visión artificial con todos los datos recolectados y procesados, donde podremos mostrarlo en una interfaz, seguido a esto se realizara las respectivas pruebas y evaluaciones y finalmente poder obtener los resultados más acertados a los requerimientos del proyecto.

El método de desarrollo en cascada con retroalimentación es un modelo lineal, en el que el software es dividido en cinco fases que deben procederse de forma secuencial; sin embargo, es posible regresar a la etapa anterior en cualquier momento en caso de requerirse. Por ello cuando se finaliza una de las fases se realiza un a revisión, con el fin de determinar si está en condiciones de avanzar a la siguiente fase (Pantaleo & Lis Rinaudo, 2015).

El proyecto se plantea desarrollar en seis etapas, a saber:

Figura 12.

Diagrama de Arquitectura



Nota: Elaboración Propia.

7.1. Recolección de Datos

- **Muestra:** Seleccionar una muestra representativa de usuarios de gimnasios que realizarán una variedad de ejercicios. La muestra incluyó tanto novatos como avanzados para asegurar una diversidad de datos.
- **Consentimiento Informado:** Todos los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado, que detallaba el propósito del estudio, los procedimientos involucrados, los beneficios y riesgos potenciales, y la confidencialidad de los datos recolectados.

- **Instrumentos:** Se utilizaron cámaras de alta definición para capturar los ejercicios desde múltiples ángulos. Las cámaras fueron colocadas en posiciones estratégicas para asegurar la cobertura completa de los movimientos. Adicionalmente, se usaron dispositivos de grabación de video que permitieron registrar las sesiones de entrenamiento en diferentes condiciones de iluminación y ambientes.
- **Procedimiento:** Se registraron una amplia variedad de ejercicios, asegurando una cobertura completa de los movimientos y técnicas. Cada video fue etiquetado con el tipo de ejercicio y otra información relevante, como la duración y la intensidad del ejercicio.

Las grabaciones se realizaron en varios entornos, incluyendo gimnasios con diferentes condiciones de iluminación y fondos, para asegurar la robustez del sistema en diversas situaciones.

7.2. Preprocesamiento de Datos

- **Selección y edición de vídeos:** Los segmentos relevantes de los videos fueron seleccionados y editados para centrarse en la ejecución del ejercicio. Se eliminaron las partes no necesarias para reducir el ruido en los datos. Cada video fue etiquetado de manera precisa para facilitar su uso en el entrenamiento del modelo. Las etiquetas incluyeron información sobre el tipo de ejercicio, la postura y los puntos clave del cuerpo.

7.3. Desarrollo del Modelo de Visión Artificial

- **Selección de Modelo:** Se utilizaron Redes Neuronales Convolucionales (CNNs) debido a su eficacia en el reconocimiento y clasificación de imágenes. En particular, se empleó el modelo MediaPipe de Google, conocido por su precisión en la detección de poses humanas.

7.4. Diseño de la interfaz de usuario

- **Elementos de la Interfaz:** Muestra del video del ejercicio.
Mostrar la estimación de pose generada por el modelo.
Proporcionar retroalimentación visual sobre la técnica de ejecución.

7.5. Pruebas y Evaluación

- **Pruebas de Usabilidad:** Realizar pruebas de usabilidad con usuarios para evaluar la efectividad y facilidad de uso de la interfaz.
- **Evaluación del Sistema:** El sistema fue evaluado en tiempo real en entornos de gimnasio, demostrando su capacidad para identificar la técnica de los ejercicios de manera efectiva.

7.6. Consideraciones Éticas

- **Confidencialidad:** Los datos recolectados fueron utilizados únicamente para los fines descritos en el formulario de consentimiento informado, y no se compartieron con terceros sin el permiso explícito de los participantes.
La participación fue completamente voluntaria, y los participantes pudieron retirarse del estudio en cualquier momento sin ninguna repercusión.

7.7. Desarrollo de los Scripts

A continuación, se dará una explicación de cada una de las partes utilizadas para la detección de ejercicios en donde describiremos que hace cada función y que la compone, para el caso de este proyecto se desarrollaron 7 scripts de cada uno de los ejercicios mencionados en la sección 6.9 a 6.13 y 1 script para la interfaz y agrupación de cada uno de los scripts anteriores.

7.7.1. Script de Detección de Ejercicios

El script es un programa de Python que utiliza la biblioteca de código abierto MediaPipe de Google, que ofrece herramientas para el análisis de pose, para detectar y contar repeticiones de ejercicios de levantamiento en tiempo real. Para empezar, fue necesario importar las bibliotecas necesarias, como OpenCV (cv2), MediaPipe (mediapipe) y NumPy (numpy). El procesamiento de imágenes, el análisis de pose y la manipulación de matrices son aplicaciones de estas bibliotecas.

Después de la importación de bibliotecas, se inicializan dos objetos de MediaPipe: **mp_drawing** y **mp_pose**. Estos objetos proporcionan acceso a las utilidades de dibujo y al modelo de detección de poses de MediaPipe, respectivamente. Serán utilizados más adelante en el script para visualizar los resultados y detectar poses en imágenes.

Figura 13.

Llamado de objetos MediaPipe

```
mp_drawing = mp.solutions.drawing_utils  
mp_pose = mp.solutions.pose
```

Nota: Elaboración Propia

Luego se declaran algunas variables globales que serán utilizadas para llevar el seguimiento del estado del ejercicio y el conteo de repeticiones como se muestra en la figura 15. Estas variables incluyen contador para contar repeticiones, stage para indicar la etapa actual del movimiento (subiendo o bajando) y ejercicio para almacenar el nombre del ejercicio que se está realizando (en este caso, "Pull-Ups").

Figura 14.

Creación de variables globales

```
contador = 0
stage = None
ejercicio = None
```

Nota: Elaboración Propia

Después de la declaración de variables, se definen algunas funciones auxiliares. La función **calcular_angulo(a, b, c)** se utiliza para calcular el ángulo entre tres puntos dados utilizando el método de arctan2. La función **nothing(x)** es una función vacía utilizada como devolución de llamada para las barras de seguimiento de OpenCV.

Figura 15.

Calcular ángulos

```
def calcular_angulo(a, b, c):
    a = np.array(a)
    b = np.array(b)
    c = np.array(c)
    radianes = np.arctan2(c[1] - b[1], c[0] - b[0]) - np.arctan2(a[1] - b[1], a[0] - b[0])
    angulo = np.abs(radianes * 180.0 / np.pi)
    if angulo > 180.0:
        angulo = 360 - angulo
    return angulo
```

Nota: Elaboración Propia

La función `detectar_pull_ups(results, s2)` es crucial para detectar las repeticiones de pull-ups. Toma los resultados de la detección de poses y el estado actual del ejercicio como entrada, y devuelve el ángulo del hombro. Esta función también actualiza las variables globales `contador`, `stage` y `ejercicio` según el estado actual del ejercicio.

Figura 16.

Detección de ángulos

```
def detectar_pull_ups(results, s2):
    global contador, stage, ejercicio

    try:
        landmarks = results.pose_landmarks.landmark

        # Obtener coordenadas de puntos clave para cadera, hombro y codo (izquierdo)
        left_hip = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].x, landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value].y]
        left_shoulder = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER.value].x, landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER.value].y]
        left_elbow = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW.value].x, landmarks[mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW.value].y]

        # Obtener coordenadas de puntos clave para cadera, hombro y codo (derecho)
        right_hip = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_HIP.value].x, landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_HIP.value].y]
        right_shoulder = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER.value].x, landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER.value].y]
        right_elbow = [landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_ELBOW.value].x, landmarks[mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_ELBOW.value].y]

        # Calcular ángulo entre cadera, hombro y codo (izquierdo y derecho)
        left_shoulder_angle = calcular_angulo(left_hip, left_shoulder, left_elbow)
        right_shoulder_angle = calcular_angulo(right_hip, right_shoulder, right_elbow)

        # Tomar el máximo ángulo entre izquierdo y derecho
        shoulder_angle = max(left_shoulder_angle, right_shoulder_angle)

        # Verificar condiciones para contar la repetición
        if s2 == 1 and 160 < shoulder_angle < 180:
            stage = "down"
        if s2 == 1 and 20 < shoulder_angle < 60 and stage == 'down':
            stage = "up"
            ejercicio = "Pull-Ups"
            contador += 1
            print(contador)

    return shoulder_angle
```

Nota: Elaboración Propia

La función **mostrar_resultados(image, results, s2)** se utiliza para mostrar los resultados en la imagen de entrada. Dibuja el ángulo del hombro y el número de repeticiones (**contador**), así como el nombre del ejercicio (**ejercicio**). Esta función es esencial para la visualización de los resultados del análisis de pose.

Figura 17.

Muestra de resultados

```
def mostrar_resultados(image, results, s2):
    if results.pose_landmarks:
        for idx, landmark in enumerate(results.pose_landmarks.landmark):
            height, width, _ = image.shape
            cx, cy = int(landmark.x * width), int(landmark.y * height)

            if s2 == 1 and idx in [mp_pose.PoseLandmark.LEFT_HIP.value, mp_pose.PoseLandmark.LEFT_SHOULDER.value, mp_pose.PoseLandmark.LEFT_ELBOW.value,
                                  mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_HIP.value, mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER.value, mp_pose.PoseLandmark.RIGHT_ELBOW.value]:
                shoulder_angle = detectar_pull_ups(results, s2)
                if shoulder_angle is not None:
                    cv2.putText(image, f'{shoulder_angle:.1f}', (cx, cy), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.4, (255, 255, 255), 1, cv2.LINE_AA)

            cv2.rectangle(image, (0, 0), (410, 50), (245, 117, 16), -1)
            cv2.line(image, (62, 0), (62, 50), (255, 255, 255), 1)

            cv2.putText(image, 'REPS', (15, 12),
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 1, cv2.LINE_AA)
            cv2.putText(image, str(contador),
                        (10, 40),
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (255, 255, 255), 1, cv2.LINE_AA)

            cv2.putText(image, ejercicio,
                        (65, 40),
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (255, 255, 255), 1, cv2.LINE_AA)
```

Nota: *Elaboración Propia*

La función principal del script es **main()**. En esta función, se inicializa la cámara para capturar vídeo y se crea una ventana para mostrar los resultados y una barra de seguimiento para controlar el estado del ejercicio. Luego, en un bucle infinito, se procesa cada fotograma del vídeo. Dentro del bucle, se obtiene el estado actual de la barra de seguimiento y se procesa el fotograma actual utilizando el modelo de detección de poses de MediaPipe. Se llaman a las funciones **detectar_pull_ups()** y **mostrar_resultados()** para detectar repeticiones y mostrar los resultados en la imagen. Finalmente, se dibujan los puntos clave y las conexiones de la pose en la imagen y se muestra la imagen resultante en una

ventana llamada "Resultante". El bucle continúa hasta que se presiona la tecla 'q', momento en el cual se libera la captura de vídeo y se cierran todas las ventanas.

Figura 18.

Función principal

```
def main():
    cap = cv2.VideoCapture(1)

    # Crear trackbars
    cv2.namedWindow('image')

    # Puedes intentar agregar un breve tiempo de espera para asegurarte de que la ventana se haya creado antes de continuar
    cv2.waitKey(1)

    cv2.createTrackbar('S2', 'image', 0, 1, nothing)

    with mp_pose.Pose(model_complexity=1, min_detection_confidence=0.5, min_tracking_confidence=0.5) as pose:
        while cap.isOpened():
            # Puedes verificar si la ventana 'image' aún está abierta antes de intentar obtener la posición de la barra de seguimiento
            if cv2.getWindowProperty('image', cv2.WND_PROP_VISIBLE) <= 0:
                break

            s2 = cv2.getTrackbarPos('S2', 'image')

            ret, frame = cap.read()

            image = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
            image = cv2.flip(image, 1)
            image.flags.writeable = False

            results = pose.process(image)

            image.flags.writeable = True
            image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2BGR)

            detectar_pull_ups(results, s2)
            mostrar_resultados(image, results, s2)

            mp_drawing.draw_landmarks(image, results.pose_landmarks, mp_pose.POSE_CONNECTIONS,
                                     mp_drawing.DrawingSpec(color=(245, 117, 66), thickness=2, circle_radius=2),
                                     mp_drawing.DrawingSpec(color=(0, 255, 0), thickness=2, circle_radius=2))
```

Nota: *Elaboración Propia*

7.7.2. Script de Interfaz gráfica

El script es una interfaz gráfica implementada en Python utilizando la biblioteca Tkinter. Esta interfaz está diseñada para detectar y visualizar varios ejercicios físicos en tiempo real utilizando la detección de pose de MediaPipe.

Como primer paso se importan funciones específicas para la detección y visualización de cada ejercicio físico desde diferentes archivos Python. Cada uno de estos archivos contiene funciones para detectar el ejercicio específico y mostrar los resultados en la interfaz gráfica.

Figura 19.*Llamado de Scripts*

```

from curl_derecho import detectar_curl_biceps_derecho, mostrar_resultados as mostrar_resultados_derecho
from curl_izquierdo import detectar_curl_biceps_izquierdo, mostrar_resultados as mostrar_resultados_izquierdo
from curl_barra import detectar_curl_biceps_barra, mostrar_resultados as mostrar_resultados_barra
from sentadilla import detectar_sentadilla, mostrar_resultados as mostrar_resultados_sentadilla
from peso_muerto import detectar_peso_muerto, mostrar_resultados as mostrar_resultados_peso_muerto
from vuelos_laterales import detectar_vuelos_laterales, mostrar_resultados as mostrar_resultados_vuelos_laterales
from dominadas import detectar_pull_ups, mostrar_resultados as mostrar_resultados_pull_ups

```

Nota: *Elaboración Propia*

La clase **InterfazGrafica** se encarga de inicializar la ventana de la interfaz gráfica y configurar los botones para cada ejercicio físico. La función **create_widgets** crea los elementos de la interfaz, incluyendo un título y botones para iniciar la detección de cada ejercicio tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20.*Creación de interfaz gráfica*

```

class InterfazGrafica:
    def __init__(self, root):
        # Inicialización de la clase InterfazGrafica
        self.root = root
        self.root.title("Interfaz de Detección de Ejercicios")

        # Configuración de Mediapipe para la detección de pose
        self.mp_pose = mp.solutions.pose
        self.pose = self.mp_pose.Pose(model_complexity=1, min_detection_confidence=0.5, min_tracking_confidence=0.5)

        # Configuración de la interfaz gráfica
        self.create_widgets()

    def create_widgets(self):
        # Añadir un título
        titulo = tk.Label(self.root, text="Interfaz de Detección de Ejercicios", font=("Helvetica", 16))
        titulo.pack(pady=10)

        # Crear botones y añadir separadores
        self.create_button("Iniciar Detección Curl Derecho", self.toggle_detection_derecho)
        tk.Frame(self.root, height=10, bg="white").pack()
        self.create_button("Iniciar Detección Curl Izquierdo", self.toggle_detection_izquierdo)
        tk.Frame(self.root, height=10, bg="white").pack()
        self.create_button("Iniciar Detección Barra", self.toggle_detection_barra)
        tk.Frame(self.root, height=10, bg="white").pack()
        self.create_button("Iniciar Detección Sentadilla", self.toggle_detection_sentadilla)
        tk.Frame(self.root, height=10, bg="white").pack()
        self.create_button("Iniciar Detección Peso Muerto", self.toggle_detection_peso_muerto)
        tk.Frame(self.root, height=10, bg="white").pack()
        self.create_button("Iniciar Detección Vuelos Laterales", self.toggle_detection_vuelos_laterales)
        tk.Frame(self.root, height=10, bg="white").pack()
        self.create_button("Iniciar Detección pull-ups", self.toggle_detection_pull_ups)

```

Nota: *Elaboración Propia*

Los métodos **toggle_detection_X**(donde X representa el ejercicio) se utilizan para alternar entre iniciar y detener la detección del ejercicio correspondiente. Cuando se presiona un botón para iniciar la detección de un ejercicio, se llama a la función **iniciar_deteccion**, que activa la cámara, procesa cada fotograma de video utilizando la detección de pose de MediaPipe, y muestra los resultados en la interfaz gráfica.

Figura 21.

Creación de interfaz gráfica. Inicio de Detección

```
def toggle_detection_derecho(self):
    self.toggle_detection(detectar_curl_biceps_derecho, mostrar_resultados_derecho, "Curl Derecho")

def toggle_detection_izquierdo(self):
    self.toggle_detection(detectar_curl_biceps_izquierdo, mostrar_resultados_izquierdo, "Curl Izquierdo")

def toggle_detection_barra(self):
    self.toggle_detection(detectar_curl_biceps_barra, mostrar_resultados_barra, "Barra")

def toggle_detection_sentadilla(self):
    self.toggle_detection(detectar_sentadilla, mostrar_resultados_sentadilla, "Sentadilla")

def toggle_detection_peso_muerto(self):
    self.toggle_detection(detectar_peso_muerto, mostrar_resultados_peso_muerto, "Peso Muerto")

def toggle_detection_vuelos_laterales(self):
    self.toggle_detection(detectar_vuelos_laterales, mostrar_resultados_vuelos_laterales, "Vuelos Laterales")

def toggle_detection_pull_ups(self):
    self.toggle_detection(detectar_pull_ups, mostrar_resultados_pull_ups, "Pull ups")

def toggle_detection(self, funcion_deteccion, funcion_mostrar_resultados, nombre_ejercicio):
    if not hasattr(self, 'cap') or not self.cap:
        # Configurar el tamaño de la captura de la cámara
        self.cap = cv2.VideoCapture(1)
        self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 600)
        self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 480)

        self.deteniendo = False
        self.iniciar_deteccion(funcion_deteccion, funcion_mostrar_resultados, nombre_ejercicio)
    else:
        self.detener_deteccion()
```

Nota: Elaboración Propia

La función **convertir_imagenTk** se utiliza para convertir una imagen de formato OpenCV a un formato compatible con Tkinter para poder mostrarla en la interfaz gráfica.

Figura 22.

Creación de interfaz gráfica. Conversión de imagen

```

def convertir_imagen_tk(self, imagen):
    imagen_rgb = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    imagen_pil = Image.fromarray(imagen_rgb)
    imagen_tk = ImageTk.PhotoImage(imagen_pil)

    # Eliminar la imagen anterior si existe
    if hasattr(self, 'imagen_tk_actual'):
        self.canvas.delete(self.imagen_tk_actual)

```

Nota: *Elaboración Propia*

Finalmente, en la sección `if __name__ == "__main__":` se crea una instancia de la clase **InterfazGrafica** y se inicia el bucle principal de la interfaz gráfica con `root.mainloop()`. Figura 23

Figura 23.

Bucle para iniciar interfaz gráfica

```

if __name__ == "__main__":
    root = tk.Tk()
    interfaz = InterfazGrafica(root)
    root.mainloop()

```

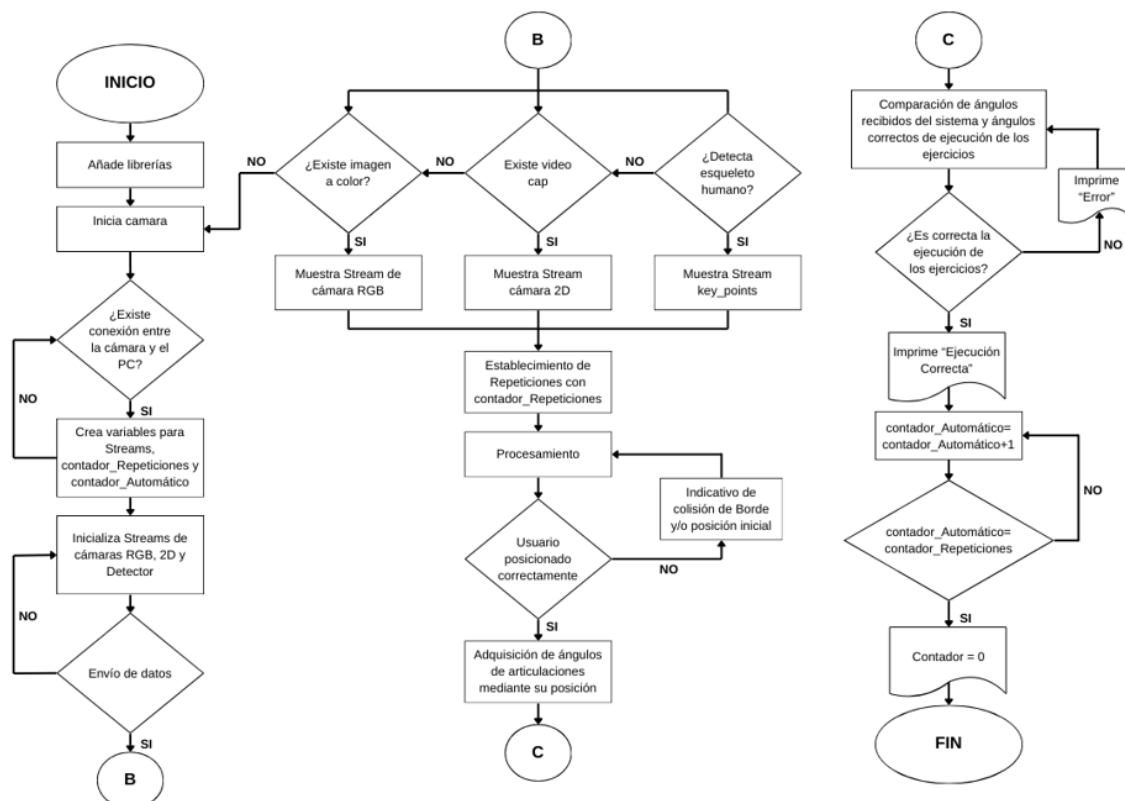
Nota: *Elaboración Propia*

7.7.3 Diagrama de Flujo

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso que lleva el algoritmo para la detección y ejecución de los scripts:

Figura 24.

Diagrama de flujo. Etapas de funcionamiento del software



Nota: Adaptado de Martínez José, J. M. (2018). Sistema de Visión Artificial para la Detección y Corrección de Posturas en Ejercicios realizados por Fisicoculturistas.

<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95190>

8. Análisis de resultados y discusión

Pasando a la zona de la valoración y el funcionamiento del proyecto el cual se llevó a cabo en 8 pruebas a lo largo de todo el proceso de desarrollo en diversos entornos ambientales como lo fueron el campus universitario SANTO TOMAS seccional TUNJA, así como en grandes cadenas de gimnasio las cuales fueron BODYTECH SEDE TUNJA y SMART FIT SEDE TUNJA, igualmente también se realizaron pruebas en gimnasios locales como lo fueron en ATHLETIC BODY GYM DUITAMA (ABC GYM).

Las pruebas se realizaron en entornos con distintas condiciones ambientales teniendo en cuenta la iluminación, igualmente teniendo en cuenta el tipo de ropa, apropiado para dicho entorno, en este caso el de gimnasio.

Por otra parte, las pruebas finales se desarrollaron en los grandes gimnasios de cadena, esto con el fin de tener la participación de entrenadores certificados y tener un mejor criterio en la ejecución de cada uno de los ejercicios. Cabe mencionar que para dichas pruebas se contó con la participación de deportistas con conocimiento en la ejecución de dichos ejercicios.

Para la primera etapa fue necesario hacer una recolección de datos en donde se utilizaron varios entornos ambientales como se mencionó anteriormente, esta recolección se hizo con el fin de tener la mayor cantidad de muestras y videos posibles para la corrección de errores que se llevaron a cabo en etapas siguientes, además de contar con diferentes fondos y sitios de iluminación. Por otra parte, esta etapa fue fundamental ya que gracias a dicha recolección de datos se pudo tener una biblioteca bastante grande para trabajar cuando no era posible en tiempo real por temas como: iluminación, ambientes o equipo de trabajo.

Figura 25.

Recolección de Datos



Nota: Elaboración Propia

Figura 26.

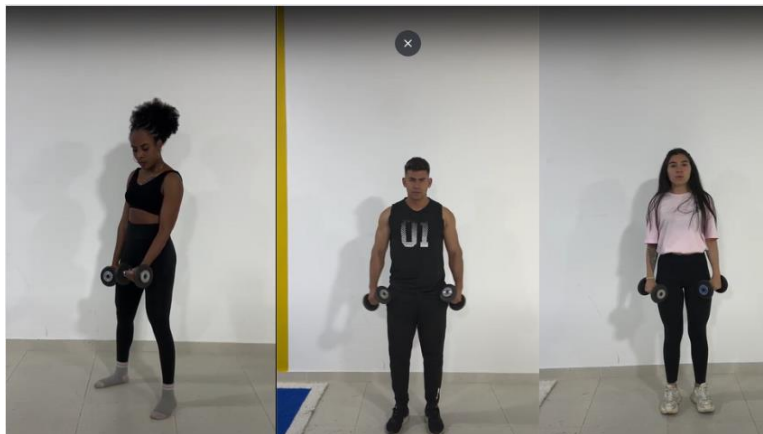
Ambiente de gimnasio



Nota: Elaboración Propia

Figura 27.

Ambiente de fondo blanco



Nota: *Elaboración Propia*

Como se puede observar se hizo una recopilación de los ejercicios mencionados anteriormente en el estado del arte, cabe resaltar que se hizo un esfuerzo por obtener varias posiciones y así seleccionar los mejores ángulos, igualmente se seccionaron en sus respectivos ejercicios, cada uno de estos ejercicios se realizó con el debido consentimiento de los deportistas.

En la segunda etapa se hizo un pre procesamiento de datos en el cual se segmentó el material para saber cuál de esos datos cumplía estrictamente para las siguientes etapas, esta etapa fue muy importante ya que sin este detallado proceso se hubieran presentado inconvenientes en etapas futuras, así mismo esta etapa fue de mucha importancia para saber con certeza que ambientes iban a ser adecuados o que ambientes no.

Figura 28.

Procesamiento de datos

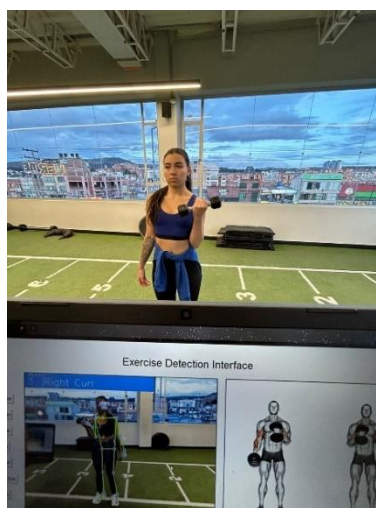


Nota: *Elaboración Propia*

De esta forma se iniciaron las pruebas en la tercera etapa con el modelo Pre-entrenado de estimación de pose utilizado el cual fue un modelo diseñado por MediaPipe de Google, este modelo basado en redes neuronales convolucionales fue utilizado para poder hacer la detección de pose de los deportistas, así mismo como se mencionó anteriormente se utilizaron los datos previamente recolectados y clasificados para ver el mejor rendimiento de este modelo Pre-entrenado como se observa en la figura 29.

Figura 29.

Pruebas modelo Pre-entrenado



Nota: *Elaboración Propia*

En cuanto a la asignación de puntos al sistema se utilizaron 32 key_points en total, estos se ubicaban en cada una de las articulaciones del usuario para así poder calcular los datos necesarios para la detección de los ejercicios en donde se definen 3 puntos utilizando las coordenadas (x, y) de cada punto en el plano. Es decir, si se va a calcular el ángulo del codo, se necesitan los puntos de la muñeca, del codo y del hombro como se muestra en la Figura 30. Para calcular el ángulo del hombro, se necesitan los puntos del codo, el hombro y la cadera (Figura 31). Para calcular el ángulo de la cadera, se necesitan los puntos del hombro, la cadera y la rodilla (Figura 32). Por último, para calcular el ángulo de la rodilla, se necesitan los puntos de la cadera, la rodilla y el tobillo como se observa en la Figura 33.

Figura 30.

Puntos clave para calcular el ángulo del codo



Nota: *Elaboración Propia*

Figura 31.

Puntos clave para calcular el ángulo del hombro



Nota: Elaboración Propia

Figura 32.

Puntos clave para calcular el ángulo de la cadera



Nota: Elaboración Propia

Figura 33.

Puntos clave para calcular el ángulo de la rodilla



Nota: *Elaboración Propia*

Con base a lo anterior se elaboró una tabla la cual muestra los puntos clave para calcular el ángulo (α) de ejecución de los ejercicios además de las articulaciones que se necesitaron para poder hacer la detección de dichos ejercicios:

Tabla 1. *Puntos clave para cálculo de ángulos*

<i>Ejercicios</i>	α _Rodilla	α _Caderas	α _Tobillo	α _Hombro	α _Codo	α _Muñeca
<i>Right Curl</i>	X	X	X	✓	✓	✓
<i>Left Curl</i>	X	X	X	✓	✓	✓
<i>Bar Curl</i>	X	X	X	✓	✓	✓
<i>Squat</i>	✓	✓	✓	X	X	X
<i>Deadlift</i>	✓	✓	X	✓	X	X
<i>Lateral Raises</i>	X	✓	X	✓	✓	X
<i>Pull Ups</i>	X	✓	X	✓	✓	X

Nota: *Elaboración Propia*

Una vez se tienen preestablecidos los ángulos de ejecución de cada uno de los ejercicios y analizado las articulaciones principales que se utilizan en cada uno de los ejercicios, se procedió a realizar los cálculos para detectar el ángulo correcto en cada ejercicio, esto se logró, teniendo el punto medio entre tres puntos en este caso el punto medio entre tres articulaciones, teniendo en cuenta que el punto medio es la articulación que va a hacer la ejecución principal, es ahí donde entra la detección crucial del sistema.

A continuación, se muestran las tablas por cada ejercicio teniendo en cuenta el punto medio de la articulación analizando el rango total del ángulo de ejecución del ejercicio y las pruebas en rangos donde se detecta la ejecución y donde no se detecta.

- **Posición Inicial y Posición Final:** Se refiere a los ángulos en grados del codo al inicio y al final del movimiento del ejercicio.
- **Detección:** Indica si el movimiento del ejercicio fue detectado o no dentro del rango específico.

Tabla 2. Rango de movimiento (Curl Right)

Rango de movimiento (Curl Right)		
Posición Inicial	Posición Final	Detección
↗_Codo	↗_Codo	
30°	160°	Detectado
20°	160°	Detectado
30°	80°	No Detectado
93°	160°	No Detectado
Rango Total	20° < ↗_Codo < 160°	

Nota: Elaboración Propia

La tabla 2 muestra el rango de movimiento del ejercicio de flexión del codo derecho ("Curl Right"). En la tabla se documentan las posiciones iniciales y finales del ángulo del codo durante

la ejecución del ejercicio, así como la detección o no de dicha ejecución en los diferentes rangos de movimiento.

Tabla 3. Rango de movimiento (Curl Left)

Rango de movimiento (Curl Left)			
Posición Inicial		Posición Final	Detección
↘_Codo		↘_Codo	
30°		160°	Detectado
20°		160°	Detectado
30°		80°	No Detectado
93°		160°	No Detectado
Rango Total		$20^\circ < \text{↘_Codo} < 160^\circ$	

Nota: Elaboración Propia

La tabla 3 muestra el rango de movimiento del ejercicio de flexión del codo derecho ("Curl Left"). En la tabla se documentan las posiciones iniciales y finales del ángulo del codo durante la ejecución del ejercicio, así como la detección o no de dicha ejecución en los diferentes rangos de movimiento.

Tabla 4. Rango de movimiento (Bar Curl)

Rango de movimiento (Bar Curl)				
Posición Inicial		Posición Final		Detección
↘_CodoDerecho	↘_CodoIzquierdo	↘_CodoDerecho	↘_CodoIzquierdo	
30°	31°	160°	159°	Detectado
20°	20°	160°	160°	Detectado
30°	20°	80°	80°	No Detectado
93°	40°	160°	160°	No Detectado
Rango Total		$20^\circ < \text{↘_Codo} < 160^\circ$		

Nota: Elaboración Propia

La tabla 4 muestra el rango de movimiento del ejercicio de flexión del codo con barra ("Bar Curl"). En la tabla se documentan las posiciones iniciales y finales del ángulo del codo derecho

y del codo izquierdo durante la ejecución del ejercicio, así como la detección o no de dicha ejecución en los diferentes rangos de movimiento.

Tabla 5. Rango de movimiento (Squat)

Rango de movimiento (Squat)		
Posición Inicial	Posición Final	Detección
↘_Rodilla	↘_Rodilla	
70°	180°	Detectado
89°	181°	Detectado
70°	89°	No Detectado
130°	160°	No Detectado
Rango Total	70° < ↘_Rodilla < 180°	

Nota: Elaboración Propia

La tabla 5 presenta el rango de movimiento del ejercicio de sentadillas ("Squat"). En la tabla se documentan las posiciones iniciales y finales del ángulo de la rodilla durante la ejecución del ejercicio, así como la detección o no de dicha ejecución en los diferentes rangos de movimiento.

Tabla 6. Rango de movimiento (Deadfilit)

Rango de movimiento (Deadfilit)		
Posición Inicial	Posición Final	Detección
↘_Cadera	↘_Cadera	
20°	180°	Detectado
19°	179°	Detectado
20°	89°	No Detectado
91°	160°	No Detectado
Rango Total	20° < ↘_Cadera < 180°	

Nota: Elaboración Propia

La tabla 6 presenta el rango de movimiento del ejercicio de levantamiento de peso muerto ("Deadlift"). En la tabla se documentan las posiciones iniciales y finales del ángulo de la cadera durante la ejecución del ejercicio, así como la detección o no de dicha ejecución en los diferentes rangos de movimiento.

Tabla 7. Rango de movimiento (*Lateral Raises*)

Rango de movimiento (<i>Lateral Raises</i>)		
Posición Inicial	Posición Final	Detección
↗_Hombro	↗_Hombro	
10°	100°	Detectado
5°	90°	Detectado
10°	50°	No Detectado
64°	95°	No Detectado
Rango Total	0° < ↗_Hombro < 100°	

Nota: *Elaboración Propia*

La tabla 7 muestra el rango de movimiento del ejercicio de elevaciones laterales ("*Lateral Raises*"). En la tabla se documentan las posiciones iniciales y finales del ángulo del hombro durante la ejecución del ejercicio, así como la detección o no de dicha ejecución en los diferentes rangos de movimiento

Tabla 8. Rango de movimiento (*Pull Ups*)

Rango de movimiento (<i>Pull Ups</i>)		
Posición Inicial	Posición Final	Detección
↘_Hombro	↘_Hombro	
20°	180°	Detectado
18°	180°	Detectado
20°	59°	No Detectado
161°	180°	No Detectado
Rango Total	20° < ↘_Hombro < 180°	

Nota: *Elaboración Propia*

La tabla 8 presenta el rango de movimiento del ejercicio de dominadas ("*Pull Ups*"). En la tabla se documentan las posiciones iniciales y finales del ángulo del hombro durante la ejecución del ejercicio, así como la detección o no de dicha ejecución en los diferentes rangos de movimiento.

Como se tenía previsto el cálculo de las articulaciones, el sistema arrojó los datos que se querían en cada uno de los ejercicios, ya que fue capaz de calcular el ángulo de los segmentos del video, estas pruebas se desarrollaron con toda la información recolectada en las primeras etapas, para observar el funcionamiento del modelo y así determinar cuáles fueron las posturas más óptimas para realizar cada ejercicio.

Figura 34.

Prueba de ángulos.



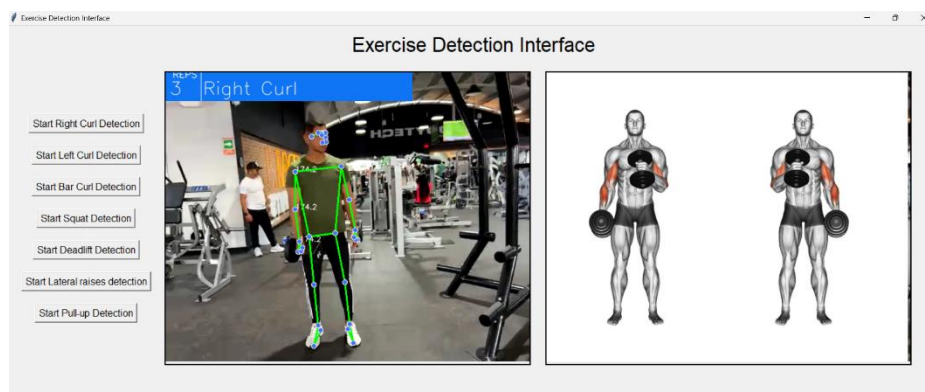
Nota: *Elaboración Propia*

Una vez se calculan los ángulos para la detección de ejercicios y su correcta ejecución se procede a diseñar la interfaz del usuario compuesta por siete botones, uno por cada ejercicio y la configuración de dos canvas donde el usuario podrá observar una esqueletización y una imagen guía del ejercicio. El usuario debe seleccionar el ejercicio a realizar y el sistema mostrará la respectiva ilustración guía en el canvas derecho y el izquierdo realizará e iniciará un reconocimiento siempre y cuando detecte una persona dentro del área permitida por la cámara. (Figura 35)

Esto se puede identificar una vez se active una barra azul en la parte superior del canva izquierdo como se observa a continuación:

Figura 35.

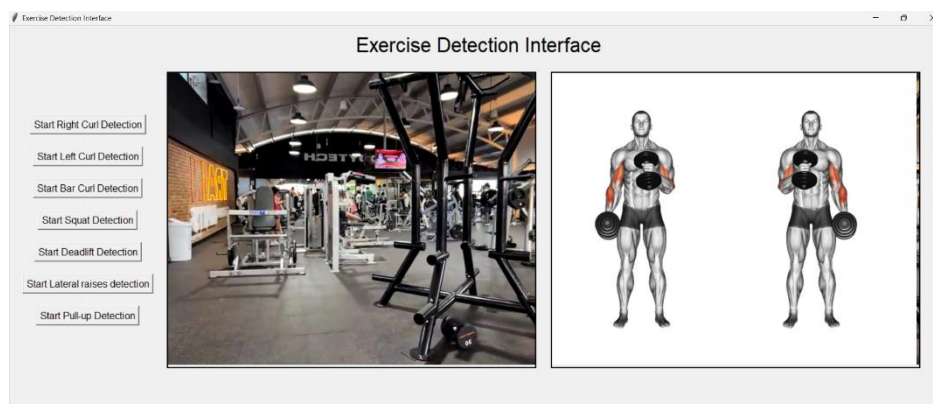
Interfaz al detectar usuario



Nota: Elaboración Propia

Figura 36.

Interfaz al no detectar usuario



Nota: Elaboración Propia

Observando los resultados se pudo evaluar un excelente desempeño del sistema al hacer el reconocimiento tanto del usuario como de los puntos clave de cada articulación en la detección de cada uno de los ejercicios propuestos a lo largo del presente proyecto.

9. Conclusiones y trabajos futuros

El proyecto demostró la viabilidad de utilizar un sistema de visión artificial para identificar y analizar la ejecución de ejercicios físicos en entornos de gimnasio. Las pruebas realizadas en diversos entornos y condiciones mostraron que el sistema es capaz de detectar correctamente la postura y técnica de los usuarios en tiempo real, proporcionando una herramienta efectiva para la corrección y mejora de la técnica de ejercicios.

La implementación de este sistema tiene el potencial de democratizar el acceso a la supervisión técnica en el ámbito del fitness, permitiendo a más personas beneficiarse de una corrección precisa sin la necesidad de un entrenador personal. Además, podría reducir los costos asociados a la supervisión personalizada en gimnasios, optimizando los recursos económicos y mejorando la calidad del servicio ofrecido a los clientes.

La utilización de modelos de visión artificial, como MediaPipe, y redes neuronales convolucionales (CNN) permitió una detección precisa de poses y movimientos. La identificación de puntos clave en las articulaciones y el cálculo de ángulos críticos fueron fundamentales para el éxito del sistema.

Durante el desarrollo del proyecto, se enfrentaron diversos desafíos técnicos, como la variabilidad en las condiciones de iluminación y los diferentes fondos en los que se realizaron las grabaciones. Sin embargo, mediante un preprocesamiento cuidadoso de los datos y la selección de entornos adecuados, se logró superar estos obstáculos.

Este proyecto representa una contribución significativa al campo del fitness, ofreciendo una solución innovadora para mejorar la supervisión de la técnica de ejercicios y optimizar los

resultados del entrenamiento. La tecnología de visión artificial aplicada en este contexto puede prevenir lesiones y mejorar la seguridad y eficacia del entrenamiento.

Trabajos Futuros:

Para mejorar la robustez y precisión del sistema, se recomienda la recolección de un conjunto de datos más amplio y diverso, incluyendo una mayor variedad de ejercicios y participantes con diferentes características físicas y niveles de habilidad.

La interfaz de usuario podría beneficiarse de mejoras adicionales, como la integración de funciones de retroalimentación auditiva y visual más avanzadas, que proporcionen instrucciones en tiempo real para la corrección de la técnica de ejercicios.

Desarrollar y probar la implementación del sistema en dispositivos móviles o wearables, permitiendo a los usuarios acceder a la supervisión de su técnica de ejercicios de manera conveniente y en tiempo real durante sus sesiones de entrenamiento.

Explorar la integración del sistema con plataformas de fitness existentes, permitiendo a los usuarios almacenar y revisar su progreso, recibir recomendaciones personalizadas y participar en programas de entrenamiento virtual supervisados.

10. Referencias Bibliográficas

Artificial Intelligence A Modern Approach (3rd Edition).pdf (PDFDrive).pdf. (s. f.).

Recuperado 28 de agosto de 2023, de

<https://scholar.alaqsa.edu.ps/9195/1/Artificial%20Intelligence%20A%20Modern%20Approach%20%283rd%20Edition%29.pdf%20%28%20PDFDrive%20%29.pdf>

Boesch, G. (2023, noviembre 10). *Computer Vision in Sports—Use Cases in 2024*. Viso.Ai.
<https://viso.ai/applications/visual-ai-in-sports/>

Chu, Y.-J., Su, J.-W., Hsiao, K.-W., Lien, C.-Y., Fan, S.-H., Hu, M.-C., Lee, R.-R., Yao, C.-Y., & Chu, H.-K. (2022). Sports Field Registration via Keypoints-aware Label Condition. *2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 3522-3529. <https://doi.org/10.1109/CVPRW56347.2022.00396>

Computer vision in sports: Applications and challenges | SuperAnnotate. (2023).
<https://www.superannotate.com/blog/computer-vision-in-sports>

Economía del deporte | ¿Qué es y cómo afecta a la gestión? | EAE. (2020).
<https://www.eae.es/actualidad/noticias/economia-del-deporte-que-es-y-como-afecta-la-gestion>

Gonzaga Aguilar, M. A., Bravo Navarro, W. H., & Romero Frómata, E. (2022). Metodología de enseñanza de ejercicios de musculación en los gimnasios de Loja. *Dominio de las Ciencias*, 8(3), 123.

Gural, M. B., Dan. (2024, enero 16). *How Computer Vision Is Changing Sports*. Voxel51.
<https://voxel51.com/blog/how-computer-vision-is-changing-sports/>

Jaiswal, A., Chauhan, G., & Srivastava, N. (2023). Using Learnable Physics for Real-Time Exercise Form Recommendations. *Proceedings of the 17th ACM Conference on Recommender Systems*, 688-695. <https://doi.org/10.1145/3604915.3608816>

Leiva, A. M., Martínez, M. A., Cristi-Montero, C., Salas, C., Ramírez-Campillo, R., Díaz Martínez, X., Aguilar-Farías, N., & Celis-Morales, C. (2017). El sedentarismo se asocia a un incremento de factores de riesgo cardiovascular y metabólicos independiente de los niveles de actividad física. *Revista médica de Chile*, 145(4), 458-467. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872017000400006>

Luzniak, K. (2022, junio 2). *Computer Vision in Sports & Fitness – Examples*. Neoteric. <https://neoteric.eu/blog/computer-vision-in-sports-and-fitness-examples/>

Marcos, A. G., Ascacibar, F. J. M. de P., Espinoza, A. V. P., Elías, F. A., Limas, M. C., Meré, J. B. O., González, E. P. V., Marcos, A. G., Ascacibar, F. J. M. de P., Espinoza, A. V. P., Elías, F. A., Limas, M. C., Meré, J. B. O., & González, E. P. V. (2006). Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial. En *Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial*. Universidad de La Rioja. <https://investigacion.unirioja.es/documentos/5c13b22ac8914b6ed3778a6a>

Martínez José, J. M. (2018). *Sistema de Visión Artificial para la Detección y Corrección de Posturas en Ejercicios realizados por Fisicoculturistas*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95190>

Mira Abad, Á. (2023). *Mejora de rendimiento deportivo mediante la detección de posturas por visión artificial* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/196851>

Nespereira, A. B. (2002). *MIL EJERCICIOS DE MUSCULACIÓN*. Editorial Paidotribo.

Plan de acción mundial sobre actividad física 2018-2030. Más personas activas para un mundo sano—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. (2019, junio 24).

<https://www.paho.org/es/documentos/plan-accion-mundial-sobre-actividad-fisica-2018-2030-mas-personas-activas-para-mundo>

S, I. G., & S, V. C. (2015). La visión artificial y los campos de aplicación. *Tierra Infinita*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.32645/26028131.76>

