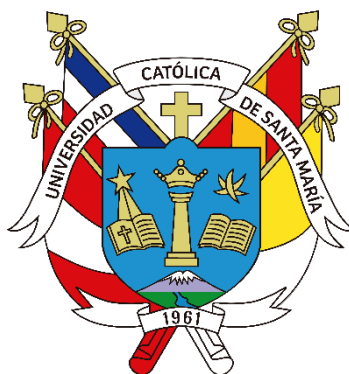


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas



**Implementación de un Sistema Multiplataforma de Visión Computacional
como Apoyo a Evaluaciones de Aptitud Física en Escolares de la Provincia
de Arequipa**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Santos Pamo, Bruno Andre

ORCID: 0000-0003-3631-5701

Cárdenas Rodríguez, Fabrizzio Jorge

ORCID: 0000-0003-2824-1685

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

Asesor (a):

Mg. Angulo Osorio, Javier Fernando

ORCID: 0000-0003-0138-634X

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE SISTEMAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 29 de Enero del 2024

Dictamen: 009506-C-EPIS-2024

Visto el borrador del expediente 009506, presentado por:

2017249271 - SANTOS PAMO BRUNO ANDRE

2017241631 - CARDENAS RODRIGUEZ FABRIZZIO JORGE

Titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTIPLATAFORMA DE VISIÓN COMPUTACIONAL COMO APOYO A EVALUACIONES DE APTITUD FÍSICA EN ESCOLARES DE LA PROVINCIA DE AREQUIPA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29217790 - TORRES GAMARRA NESTOR
DICTAMINADOR**



**29601217 - ROSAS PAREDES KARINA
DICTAMINADOR**



**29612305 - SULLA TORRES JOSE ALFREDO
DICTAMINADOR**



Implementación de un Sistema Multiplataforma de Visión Computacional como Apoyo a Evaluaciones de Aptitud Física en Escolares de la Provincia de Arequipa

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

1%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

- 1 Jose Sulla-Torres, Bruno Andre Santos Pamo, Fabrizio Jorge Cárdenas Rodríguez. "Evaluation of Physical Activity by Computer Vision Using Azure Kinect in University Students", 2023 3rd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), 2023
Publicación 1%
- 2 Submitted to Universidad Católica de Santa María
Trabajo del estudiante 1%
- 3 dspace.ut.ee
Fuente de Internet 1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado para todas aquellas personas que nunca dejaron de confiar en mí. Especialmente para mi madre Juana, mi padre Juan Carlos, mis abuelos y hermanos quienes fueron el refugio perfecto a la motivación constante. A mis tíos por sus consejos y para aquellos que no están, por sus recuerdos.

Bruno Andre Santos Pamo.

Dedico este trabajo primeramente a mi madre, sin quien no podría jamás haber llegado tan lejos. Dedico también este logro a toda mi familia, espero pueda ser un orgullo tanto para ellos como lo es para mí.

Fabrizio Jorge Cárdenas Rodríguez.

Agradecimiento

Agradecemos a nuestros padres por su inmensurable apoyo incondicional. A todos los docentes que contribuyeron a nuestra formación, especialmente al Dr. José Sulla Torres, quien nos ofreció la gran oportunidad de participar en esta investigación. Además, agradecemos cordialmente al Vicerrectorado de Investigación y a la Universidad Católica de Santa María por haber apoyado y patrocinado el proyecto. También, queremos agradecer a los colegios, profesores y alumnos que participaron. Finalmente, agradecemos a Christopher y Alexander por su apoyo y amistad.



RESUMEN

La pandemia iniciada en 2019 tuvo consecuencias inesperadas. Entre estas, se encuentra el aumento en el índice de obesidad global. De particular interés es el aumento de dicho índice en estudiantes de educación básica, de entre 8 a 18 años. Para poder solucionar este aumento en obesidad es necesario primero resolver varios factores bases. Entre ellos se encuentra la necesidad de un método de evaluación de aptitud física que facilite la recolección de información sobre el estado físico de los estudiantes de manera más rápida y objetiva que los métodos tradicionales de evaluación. Por ende, esta investigación propone un sistema multiplataforma de visión computacional que permita la evaluación de la aptitud física en estudiantes de manera interactiva, reduciendo la subjetividad de las evaluaciones. Para el desarrollo de dicho sistema se tomó la participación de tres colegios de la provincia de Arequipa y la Universidad Católica de Santa María. En la evaluación de aptitud física se utilizó una batería de cuatro pruebas, evaluando un total de 284 estudiantes entre edades de 8 y 19 años. Se obtuvo buen porcentaje de acierto en la versión de escritorio del software desarrollado en contraste a los métodos de evaluación tradicionales, siendo dicho porcentaje mayor al 94% para tres de las cuatro pruebas en un entorno de campo. Además, un porcentaje mayor al 95% para dos de las cuatro pruebas en un entorno de laboratorio. En la versión de aplicativo móvil, también se obtuvieron resultados favorables, con un porcentaje de acierto mayor al 95% para dos de las cuatro pruebas y cercano al 85% para las pruebas restantes. Finalmente, los profesores de educación física utilizaron el aplicativo y determinaron satisfactorio el desempeño y usabilidad del mismo. Por lo que se cumplen los objetivos de la investigación.

Palabras clave: Visión computacional, aptitud física, estudiantes.

ABSTRACT

The pandemic that we all suffered in 2019 had unexpected consequences. One of these being the significant increase in obesity rates worldwide. Of special interest is the increase in obesity in children aged 8 to 18. To solve this problem, it is necessary to first solve several underlying issues. Among these is the lack of a standardized, less subjective and more efficient method of evaluation physical fitness in said children, compared to traditional approaches. Thus, the research presented in this document proposes a multiplatform system, that incorporates a desktop and a mobile app version, that uses computer vision to accurately and interactively evaluate the physical fitness of school children. To develop said system the cooperation of three school of the region of Arequipa and the Catholic University of Santa Maria was needed. To measure the physical fitness of the students a battery of four different physical tests was implemented and overall, 284 students aged 8 to 19, that were enrolled in said schools participated. The system obtained an acceptable accuracy level, reaching a percentage of 94% accuracy in field evaluations and a percentage greater than 95% in laboratory evaluations for two of the four tests. The mobile app developed also had a high accuracy percentage, greater than 95% for two of the tests and close to 85% for the remaining two. Finally, the physical education teacher that participated in the research tested the mobile app and found it satisfactory in both functionality and usability. As such, the objectives of the research presented are concluded archived.

Keywords: Computer vision, physical fitness, school children.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
1. Plan de la investigación.....	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Preguntas de Investigación.....	6
1.4. Línea y Sublínea De Investigación.....	6
1.4.1. Línea de Investigación	6
1.4.2. Sublínea de Investigación	6
1.5. Palabras Clave	6
1.6. Solución Propuesta.....	6
CAPITULO II.....	7
2. Fundamentos Teóricos.....	8
2.1. Revisión Sistemática.....	8
2.2. Estado Del Arte.....	10
2.3. Bases Teóricas.....	19
2.3.1. Visión Computacional.....	19
2.3.2. Aptitud Física.....	19
2.3.3. Evaluación de Aptitud Física	19
2.3.4. Azure Kinect DK	19
2.3.5. SDK.....	20
2.3.6. LightBuzz	20
2.3.7. CRISP-DM	20
CAPITULO III.....	21

3. Marco Metodológico	22
3.1. Alcances y Limitaciones.....	22
3.1.1. Alcances.....	22
3.1.2. Limitaciones.....	23
3.1.3. Análisis de costos	23
3.2. Aporte.....	24
3.3. Enfoque y Diseño de la Investigación	25
3.4. Tipo y Nivel de la Investigación	25
3.5. Población y Muestra.....	25
3.5.1. Población	25
3.5.2. Muestra	25
3.5.3. Método de muestreo	25
3.6. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	26
3.6.1. Métodos	26
3.6.2. Instrumentos	26
3.6.3. Recolección de Datos	26
3.7. Plan de Análisis Estadístico de los Datos	27
3.8. Plan de Trabajo	27
CAPITULO IV	28
4. Desarrollo de la Propuesta	29
4.1. Entendimiento del Negocio.....	30
4.1.1. Descripción de entorno y requisitos.....	31
4.2. Entendimiento de los Datos	33
4.2.1. Descripción de pruebas de aptitud física.....	33
4.2.2. Características de las cámaras	35
4.2.3 Descripción de alto nivel de la solución.....	36
4.3 Comparación y Selección de Framework.....	37
CAPITULO V	41
5. Modelado.....	42
5.1. Implementación de Versión de Escritorio.....	42
5.1.1. Ambiente de Trabajo	42
5.1.2. Librerías y Arquitectura de Código	42
5.1.3. Lógica Implementada	44
5.1.4. Visualización de Resultados	50

5.2. Implementación de la Versión Móvil.....	52
5.2.1. Diagramas	52
5.2.2. Diseño de Interfaces	56
5.2.3. Desarrollo en Unity	58
5.3 Testing	64
5.3.1 Pruebas Unitarias.....	65
5.3.2 Pruebas Integrales.....	67
5.3.3 Pruebas Funcionales	68
5.3.4 Pruebas de Experiencia de Usuario.....	68
CAPITULO VI	70
6. Preparación de los Datos	71
6.1 Requisitos de Evaluación	71
6.2 Instrumentos y Distribución.....	72
6.3 Procedimiento de Recolección.....	76
CAPITULO VII.....	77
7. Evaluación.....	78
7.1 Recolección y Procesamiento en Campo	78
7.2 Recolección y Procesamiento en Laboratorio.....	89
CAPITULO VIII	96
8. Despliegue	97
8.1 Prototipo.....	97
8.2 Registro de Propiedad Intelectual	98
CAPITULO IX	99
9. Análisis y Validación de Resultados	100
9.1 Análisis de Datos.....	100
9.2. Validación Cualitativa	103
9.3. Validación Cuantitativa.....	106
DISCUSIÓN.....	109
CONCLUSIONES.....	110
RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS	114
ANEXOS	122
A. Cuestionario Propuesto.....	122
B. Capturas de Interfaces del Prototipo.....	124

C. Dispositivos Móviles Compatibles.....	129
D. Estándares.....	130
E. Glosario.....	131
F. Artículo Publicado en IEEE Xplore.....	132
G. Muestra de Datos Recolectados	139
H. Manual de Usuario del Aplicativo Móvil	140
I. Test de Usuario	157



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Gantt del proyecto.....	27
Figura 2. Importación de librerías en script C#.....	42
Figura 3. Arquitectura de código para las escenas de pruebas de aptitud física.	43
Figura 4. Variables utilizadas para la prueba de salto horizontal.	44
Figura 5. Mapa de articulaciones proporcionado por LightBuzz.....	45
Figura 6. Función para medir la distancia saltada.....	46
Figura 7. Variables y funciones para la prueba de flexibilidad.....	47
Figura 8. Representación vectorial de la prueba de abdominales.	49
Figura 9. Representación vectorial de la prueba de flexión de bíceps.	49
Figura 10. Lógica de control de repeticiones.....	50
Figura 11. Ejemplo de evaluación de prueba de abdominales.....	50
Figura 12. Ejemplo de evaluación de prueba de flexión de bíceps.....	51
Figura 13. Ejemplo de evaluación de prueba de salto horizontal sin impulso.....	51
Figura 14. Ejemplo de evaluación de prueba de flexión de flexibilidad.....	51
Figura 15. Diagrama de flujo de la aplicación móvil.....	52
Figura 16. Diagrama de casos de uso de la aplicación móvil.	53
Figura 17. Árbol de datos en Firebase.	55
Figura 18. Diagrama de secuencias de la aplicación móvil.	56
Figura 19. Interfaces diseñadas en Figma.	57
Figura 20. Instalación del editor y componentes de Unity para Android.	58
Figura 21. Importación de LightBuzz al proyecto en Unity.	59
Figura 22. Implementación de interfaces en Unity.	59
Figura 23. Escena de grabación de prueba de bíceps en Unity.....	60
Figura 24. Estructura de carpetas “Scripts, Sprites, Videos”.....	61
Figura 25. Uso de librería XCharts en la interfaz de resultados de bíceps.	62
Figura 26. Ejemplo de recuperación de datos almacenados con “PlayerPrefs”.....	63
Figura 27. Ejemplo de guardado de datos con “PlayerPrefs”.	63
Figura 28. Constructor de clase “Student”.....	64
Figura 29. Validación de campos desde el inspector de Unity.	66
Figura 30. Ejemplo de resultados de ejecución de pruebas unitarias en la consola.....	67

Figura 31. Resultados de pruebas integrales desde “Android Logcat” de Unity.....	68
Figura 32. Caja de Wells.....	73
Figura 33. Set de mancuerna modular de 10 Kg.....	73
Figura 34. Colchoneta para abdominales.....	73
Figura 35. Flexómetro, cinta métrica y cinta aislante utilizadas.....	74
Figura 36. Distribución frontal de la prueba.....	75
Figura 37. Distribución lateral de la prueba.....	76
Figura 38. Prueba de flexión de abdominales por control y software.....	82
Figura 39. Prueba de flexión de bíceps por control y software.....	82
Figura 40. Prueba de flexibilidad por control y software.....	82
Figura 41. Prueba de salto horizontal sin impulso por control y software.....	83
Figura 42. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de flexibilidad.....	84
Figura 43. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de salto horizontal.....	85
Figura 44. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de flexión de bíceps.....	86
Figura 45. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de flexión de abdominales.....	87
Figura 46. Distribución de las dos cámaras Canon.....	88
Figura 47. Precisión de prueba de salto horizontal sin impulso.....	91
Figura 48. Precisión de prueba de flexibilidad.....	92
Figura 49. Precisión de prueba de flexión de abdominales.....	92
Figura 50. Precisión de prueba de flexión de bíceps.....	92
Figura 51. Escenario para la prueba de flexión de bíceps y abdominales.....	94
Figura 52. Escenario para la prueba de salto horizontal sin impulso y flexibilidad.....	94
Figura 53. Ejecución de prueba de abdominales.....	94
Figura 54. Ejecución de prueba de bíceps.....	95
Figura 55. Ejecución de prueba de flexibilidad.....	95
Figura 56. Configuración de "Build Settings" en Unity.....	97
Figura 57. Información de prototipo instalado en celular.....	98
Figura 58. Percentiles para cada prueba.....	101
Figura 59. Distribución entre distancia de salto y ángulos del control 1.....	102
Figura 60. Distribución entre distancia de salto y ángulos del control 2.....	102
Figura 61. Distribución entre distancia de salto y ángulos del control 3.....	102
Figura 62. Precisión de software por entorno.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ecuaciones de búsqueda ejecutadas.	8
Tabla 2. Número de artículos encontrados.	9
Tabla 3. Coste de trabajo de tesistas por mes.	24
Tabla 4. Coste de equipos y software.	24
Tabla 5. Técnicas, definición e instrumento.	26
Tabla 6. Criterios de evaluación para la metodología a utilizar.	30
Tabla 7. Evaluación de metodología.	30
Tabla 8. Requerimientos de hardware por entorno.	32
Tabla 9. Peso de mancuernas según edad.	35
Tabla 10. Capacidades técnicas de las cámaras utilizadas.	36
Tabla 11. Criterios de evaluación para el framework a utilizar.	37
Tabla 12. Evaluación de frameworks.	39
Tabla 13. Especificaciones técnicas del celular utilizado para las pruebas.	65
Tabla 14. Casos de prueba definidos para las pruebas unitarias.	66
Tabla 15. Casos de prueba definidos para las pruebas integrales.	67
Tabla 16. Análisis de test de usuarios.	69
Tabla 17. Datos de interés por cada prueba implementada.	78
Tabla 18. Distribución de alumnos y pruebas realizadas en las pruebas de campo.	80
Tabla 19. Distribución de datos antropométricos de los alumnos en las pruebas de campo.	80
Tabla 20. Porcentaje de precisión del software en entorno de campo.	81
Tabla 21. Datos de precisión del software en ambiente de campo.	81
Tabla 22. Distribución de datos antropométricos de los alumnos en pruebas de laboratorio.	90
Tabla 23. Porcentaje de precisión del software en ambiente de laboratorio.	90
Tabla 24. Datos de precisión del software en ambiente de laboratorio.	91
Tabla 25. Coeficiente de correlación entre control y ángulo correspondiente.	103
Tabla 26. Preguntas de cuestionario según categorías.	104
Tabla 27. Resultados de validación por cuestionario.	105

INTRODUCCIÓN

Debido a los aproximadamente dos años en los que la población mundial se enfrentó generalmente a una vida sedentaria, debido a la pandemia, se observan grandes cambios en los hábitos de algunos sectores de la población, incrementándose los índices de obesidad. Esta tendencia observada es principalmente preocupante en niños y jóvenes. Esto viene a ser un problema que necesita ser resuelto lo más pronto posible. Sin embargo, este problema contiene muchos factores que pueden contribuir a padecer la enfermedad, lo cual dificulta su control. Sabemos que generalmente para evitar este mal, se debería tratar de controlar buenos hábitos alimenticios y de actividad física. No obstante, para cualquier acción correctiva se necesita como punto de partida los datos que permitan entender el contexto y características del problema con el fin de poder llegar a una solución viable. Actualmente, se carece de información sobre el estado de aptitud física de niños y jóvenes, específicamente en la provincia de Arequipa. Logramos identificar dos motivos principales de esta carencia de datos. El primero viene a ser la carencia de incentivos y programas proporcionados por el estado y colegios hacia proyectos mantenibles en el tiempo que puedan recolectar y utilizar dicha información. El segundo, la dificultad para medir la aptitud física de manera objetiva, eficiente y eficaz. Los métodos de medición tradicionales tienden a ser subjetivos y muy dependientes de la experiencia del profesor o profesional realizando las mediciones, esto impide que se pueda tener un proceso de medición de aptitud física que sea replicable y suficientemente confiable en el proceso de recolección de datos. Debido a estos motivos, actualmente no se tiene una línea base de datos sobre la aptitud y estado físico de niños y jóvenes, lo cual impide el desarrollo de una solución para el crecimiento del porcentaje de obesidad en esta población. Esta investigación pretende desarrollar un sistema multiplataforma, utilizando las cámaras Azure Kinect y cámaras Canon EOS M50 Mark II, en combinación con técnicas de visión computacional para recolectar

datos y medir la aptitud física de niños y jóvenes estudiantes. Con este sistema se puede obtener una línea base de la aptitud física de los estudiantes en etapa escolar de nuestra región. Adicionalmente debido a la precisión y objetividad de los métodos de visión computacional se presenta un método de recolección futura más confiable y acorde al avance que la tecnología está teniendo en estos campos. Finalmente, el sistema propuesto, es accesible mediante celulares de mediana o alta gama, lo cual permite que los docentes encargados de medir la aptitud física de estudiantes puedan utilizar un método eficaz y objetivo de recolección de datos como apoyo a las evaluaciones que realizan. A continuación, este documento presenta el plan de investigación, fundamentos teóricos, marco metodológico, desarrollo de la investigación, análisis, validación de resultados y finalmente una discusión de conclusiones obtenidas de la investigación. (Akter et al., 2022) (Daniels et al., 2022) (Di Cesare et al., 2019) (Restrepo, 2022)



1. PLAN DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema

Debido a situaciones relacionadas con la pandemia global, adicionando los factores de mayor facilidad de acceso y uso a dispositivos electrónicos y las facilidades que estos involucran se logra observar grandes cambios en todas las facetas de la sociedad y la vida cotidiana. Lamentablemente, entre estos cambios también se observan cambios perjudiciales para la salud y el bienestar de las personas. Específicamente en relación a la salud y bienestar físico se observa un incremento en niveles de obesidad y falta de actividad física, especialmente en jóvenes y estudiantes. Esta situación puede llevar a una reducción en la expectativa de vida para futuras generaciones. (Akter et al., 2022)

Sin embargo, este problema es de gran complejidad y su resolución requiere una increíble cantidad estimada de recursos y esfuerzos a nivel nacional. No obstante, se puede empezar a investigar y solucionar partes del problema como apoyo al futuro. Entre estos se nota que la medición del bienestar y nivel de actividad física en jóvenes estudiantes, específicamente en aquellos entre 6 y 17 años, se realiza de manera tradicional, lo cual dificulta y alienta el proceso de recolección de datos para formar una base y estándar del nivel de actividad física para jóvenes de dichas edades especialmente en el contexto Arequipeño.

La carencia de datos apropiados en este contexto sobre los niveles de aptitud física en estudiantes implica la carencia de información vital para la planificación y futura implementación de medidas para apoyar a la salud de dichos estudiantes.

La subjetividad de las evaluaciones por los profesores del curso de Educación Física en los colegios, pueden generar más problemas de los que podemos ser conscientes. La forma tradicional no motiva ni alienta a los estudiantes a realizar ejercicio físico a esta importante edad. Además, con el avance de la tecnología accesible a inversiones no costosas por parte de los colegios, estas pueden permitir la actualización de metodologías de enseñanza,

capacitaciones a los profesores en el uso de dispositivos de medición y generar una competencia sana entre los escolares.

Por ende, la presente investigación busca aplicar métodos de visión computacional, debido a la capacidad de automatización y gran nivel de precisión de dichos métodos actualmente, además de la posibilidad de importar dichos métodos a un ambiente móvil, para la medición de aptitud física de estudiantes, con el fin de eventualmente proporcionar un método fácil, adaptativo y móvil por el cual se pueda medir la aptitud física de los estudiantes y poder recomendar acciones para mejorar dicha aptitud, además de motivar el ejercicio físico en escolares y hacer de este un buen hábito.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema multiplataforma de visión computacional como apoyo en la evaluación de aptitud física en escolares.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar la versión de escritorio del sistema para la medición de pruebas de aptitud física en escolares utilizando visión computacional.
- Evaluar la aptitud física por medio de visión computacional con pruebas de laboratorio y campo, para la generación de percentiles con puntos de corte por edad y género.
- Desarrollar el aplicativo móvil del sistema para la evaluación de aptitud física con pruebas en campo.
- Validar el aplicativo móvil mediante la aprobación de su uso en campo por los profesores de educación física.

1.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cómo se puede utilizar la visión computacional para apoyar en la evaluación de aptitud física en escolares?
- ¿De qué forma se puede evaluar la aptitud física utilizando visión computacional con gran nivel de precisión?
- ¿Cómo se pueden obtener datos de aptitud física de escolares utilizando un sistema de visión computacional?
- ¿De qué forma se puede evaluar la aptitud física utilizando visión computacional con gran nivel de usabilidad?
- ¿Cómo se puede validar la satisfacción de uso del aplicativo móvil desarrollado?

1.4. Línea y Sublínea De Investigación

1.4.1. Línea de Investigación

Inteligencia artificial.

1.4.2. Sublínea de Investigación

Visión Computacional.

1.5. Palabras Clave

Azure Kinect SDK, visión computacional, aptitud física, estudiantes, aplicativo móvil.

1.6. Solución Propuesta

Implementación de un sistema de visión computacional como apoyo a evaluaciones de aptitud física en escolares de la provincia de Arequipa.



CAPITULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Revisión Sistemática

Tabla 1.

Ecuaciones de búsqueda ejecutadas.

Código	Detalle	Palabras clave	Detalle
B1	Búsqueda 1	(Computer Vision) AND (Physical Activity)	Computer Vision used in measuring physical activity.
B2	Búsqueda 2	(Physical Fitness) AND (Computer Vision)	Physical fitness measured with computer vision.
B3	Búsqueda 3	(Azure Kinect) AND (School)	Use of azure Kinect in schools and similar environments.
B4	Búsqueda 4	(Computer Vision) AND (School)	Computer Vision used in Schools and similar environments.
B5	Búsqueda 5	(Computer Vision) AND (Azure Kinect)	Azure Kinect used as a part of Computer Vision Systems.
B6	Búsqueda 6	(Physical Fitness) AND (Azure Kinect)	Physical fitness measured using Azure Kinect.
B7	Búsqueda 7	(Physical Activity) AND (Azure Kinect)	Azure kinect used in measuring physical activity.
B8	Búsqueda 8	(Computer Vision) AND (Physical Fitness) AND (Schools)	Computer Vision used to measure physical fitness in Schools and similar environments.
B9	Búsqueda 9	(Computer Vision) AND (Physical Fitness) AND (Azure Kinect)	Using the Azure kinect as a part of a Computer Vision System design to measure physical fitness.
B10	Búsqueda 10	(Physical Fitness) AND (Schools) AND (Azure Kinect)	Usage of Kinect in schools for physical fitness measurement.

Tabla 2.

Número de artículos encontrados.

Base de datos	Palabras clave										N.º de Artículos	Artículos seleccionados
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10		
Web of Science	81	21	29	22	6	0	3	1	0	0	163	23
IEEE Xplore	40	3	0	0	0	0	0	0	0	0	43	6
Total	121	24	29	22	6	0	3	1	0	0	206	29

2.2. Estado Del Arte

Con el objetivo de entender los temas abordados por la investigación, es necesario tener una idea general del alcance que pueden tener las aplicaciones de visión computacional y los contextos donde se pueden implementar de manera efectiva.

Actualmente el campo de visión computacional se encuentra diferenciado por algunos métodos y enfoques que cambian, según sea el caso, su aplicación en diferentes contextos. Es así como en una investigación logran definir una categorización en estimación de pose, interacción humano-pose, reconocimiento de actividad y gesto, seguimiento humano, no obstante, cabe recalcar que estas son categorizaciones generales y existen investigaciones tangenciales que no se adaptan limpiamente a dichas categorías. Los autores hacen especial énfasis en la carencia de estudios por parte de la comunidad científica en la realización de análisis comparativo del seguimiento humano; el análisis comparativo propuesto en este estudio puede servir de base a la comparación de datos de seguimiento para la exportación de resultados más precisos en nuestro estudio. (Debnath, Bappaditya et al., 2022)

Podemos observar que dichas áreas varían bastante, desde ámbitos de la salud, donde existen diversas investigaciones en la prevención de problemas y/o ataques cardíacos, donde proponen un sistema de monitoreo de cambios de color de piel en la cara como indicador de cambios en la frecuencia cardíaca y así proponen un sistema de visión computacional que pueda ser utilizado en ámbitos de la salud para monitoreo de pacientes en riesgo. (Khanal, Sampaio, et al., 2022)

Como también existen investigaciones enfocadas en la educación, donde proponen un sistema de visión computacional que apoye al aprendizaje de lenguaje, en específico inglés, con el reconocimiento de señas y acciones con el fin de proporcionar un ambiente, que, junto con realidad virtual, sea más interactivo y dinámico para los estudiantes, facilitando así el aprendizaje de nuevos lenguajes. (Mau-Tsuen Yang & Wan-Che Liao, 2014)

Podemos identificar el uso de visión computacional como parte de un sistema, no como factor principal, que apoya el uso de un brazo robótico para personas con discapacidades o que hayan sufrido accidentes. Esta investigación demuestra la facilidad y beneficio de incorporar visión computacional diversos sistemas, así ampliando los posibles beneficios o facilitando el reconocimiento de intención por parte de los usuarios. (Xu et al., 2022)

Adicionalmente, se puede incorporar sistemas de visión computacional en situaciones y problemas modernos sin mucha dificultad, donde aplican visión computacional para analizar ambientes de alto riesgo de COVID e identificar uso de mascarillas, equipo de protección y distanciamiento social. Esta investigación prueba la gran adaptabilidad de sistemas de visión computacional a problemas repentinos, como vino a ser el caso de la pandemia. (Di Benedetto et al., 2022)

La investigación de Martinez-Martin et al. (2019) toma la iniciativa en el apoyo de actividades cotidianas y lo amplían al apoyo de actividades cotidianas en adultos mayores y con necesidad de asistencia. Su proyecto PHAROS 2.0 proporciona un sistema de apoyo y monitoreo de adultos mayores cuando realicen sus actividades físicas, demostrando la capacidad de monitoreo constante de personas en riesgo, como es el caso de adultos mayores, mientras que se mantiene un nivel de discreción y privacidad al no tener un ser humano vigilando a dichos adultos mayores 24/7, sino con un sistema de visión computacional que identifica movimientos y factores de riesgo y puede informar a los especialistas y personal de casas y hogares de ancianos.

En su investigación Al-Naji & Chahl (2017) toman el enfoque de monitoreo de múltiples personas y lo especializan para monitorear posibles problemas cardiovasculares por medio de identificación de movimientos, respiración y cambios faciales asociados con problemas cardiovasculares. Dicho sistema proporciona gran apoyo en ambientes como salas de

emergencia y espera en hospitales o inclusive durante eventos donde múltiples personas puedan sufrir de ataques de calor o ataques cardíacos, como durante maratones o festivales.

Tomando el tema de ambientes donde se realiza actividad aeróbica o ejercicios de resistencia, Zhu et al. (2021) utilizan un sistema de visión computacional, utilizando redes neuronales convolucionales o CNN junto con técnicas de Big Data para desarrollar un sistema de detección de riesgo de lesión durante ciertos ejercicios aeróbicos. El uso de sistemas de visión computacional en ambientes deportivos es una tendencia que veremos más a fondo en la siguiente sección, puesto que se aplica muy fácilmente a nuestro proyecto y pueden servir de guía metodológica o técnica.

Los estudios del seguimiento del cuerpo para la medición cuantitativa de la actividad física que realiza una persona se está convirtiendo en una temática interesante de estudio por la comunidad científica, enfocados en diversos contextos como en los ambientes de actividad humana cotidiana, como Adams et al. (2022) muestran o en contextos dedicados a la actividad física como gimnasios o centros de alto rendimiento, donde los resultados demuestran que los deportistas perciben una mejor retroalimentación a través del seguimiento de sus ejercicios utilizando dispositivos de monitoreo sin contacto con el deportista, además, mediante el análisis de videos con algoritmos de aprendizaje automático se pueden extraer diversos datos que agrupados sirven para medir el rendimiento en tiempo real, así como el porcentaje de eficiencia que tiene el deportista en sus ejercicios como hicieron Khanal, Paulino, et al. (2022). Estos últimos estudios sirven como una guía técnica en la metodología a emplear en nuestra investigación, así como también demuestran la inexistencia de limitación tecnológica para los fines de nuestro proyecto.

El monitoreo de la actividad física tiene como uno de sus indicadores la intensidad con la que una persona realiza cierta actividad, para realizar la captura de estos datos de forma tradicional se utilizan acelerómetros. Sin embargo, estudios como el de Horak et al. (2022) demuestran que

es posible complementar e incluso sustituir este instrumento mediante visión computacional, utilizando la librería OpenPose de seguimiento del cuerpo y cuadros de video a 10FPS, para la extracción de datos de los ángulos de la cadera de cada persona al realizar actividades moderadas.

El seguimiento del cuerpo utilizando sensores de profundidad avanzados como los del dispositivo Kinect V2, se han utilizado en investigaciones con el objetivo de beneficiar a personas vulnerables como método de prevención ante ciertas situaciones. Tal es el caso de la investigación planteada por los autores Elkholy et al. (2020) que consideran que los adultos mayores podrían tener una vida más independiente con la detección temprana de anomalías en sus movimientos cotidianos como el sentarse, ponerse de pie, caminar derecho y subir escaleras. Se entrenó un modelo de regresión lineal, teniendo éxito en los resultados experimentales.

Pero esto no indica que únicamente se puede o se realizan investigaciones con equipamiento especializado como el Kinect V2 o DK. Mondal et al. (2021) demuestran en su investigación el uso de sensores de un teléfono celular, smartphone, junto con una red neuronal gráfica para el reconocimiento de actividades humanas. Cabe recalcar que este trabajo es validado únicamente con bases de datos, no obstante, los resultados se validan con simulaciones y discusiones, demostrando también que no es absolutamente necesario el uso de participantes y de equipamiento especializado para realizar el uso de visión computacional en el reconocimiento de actividades humanas.

Para entender mejor las posibles aplicaciones del análisis de actividades físicas humanas por medio de la visión computacional podemos observar el trabajo de Zaki Zadeh et al. (2022), donde por medio de un sistema de visión computacional semiautomatizado, un test de ejercicios y acciones logrando medir habilidades cognitivas. Esta investigación puede servir como investigación modelo para nuestro proyecto, no obstante, el contexto de desarrollo, siendo en

adultos mayores y con mayor y mejor equipamiento, es suficientemente distinto para ameritar futuras investigaciones.

En base a lo revisado, logramos encontrar una fuerte tendencia hacia el desarrollo de investigaciones en el uso de visión computacional como apoyo a toma de decisiones y análisis deportivo. La investigación de Baca et al. (2022) y de Host & Ivašić-Kos (2022) demuestran este punto en sus investigaciones, donde analizan, discuten y presentan las tendencias y objetivos más comunes que se investigan en relación a visión computacional y deportes. Sus investigaciones demuestran que el uso de sistemas de visión computacional como apoyo o inclusive como reemplazo a evaluaciones deportivas y de ejercicios tradicionales tiene un increíble potencial.

Pasando a un caso más específico, la investigación de Needham et al. (2021) implementa la visión computacional para medir la velocidad de correr de participantes en carreras cortas en línea recta. Esta investigación demuestra la factibilidad de uso de sistemas de visión computacional para medir no solo ejecución de ciertos ejercicios, sino también cuestiones de velocidad, peso, etc. Nuestro proyecto también tomará consejos de esta investigación al momento de analizar las pruebas de aptitud física definidas.

Finalmente podemos observar el uso de sistemas de visión computacional como apoyo al análisis y evaluación de ejercicios de rehabilitación en la investigación de Francisco & Rodrigues (2022), quienes aplican un sistema de visión computacional como recolector de datos y un sistema de “machine learning” para identificar puntos errados durante la realización de ejercicios de rehabilitación. El uso en conjunto de visión computacional y sistemas inteligentes que puedan usar la data recolectada por el primer sistema nos da una ojeada al futuro del campo. En un contexto escolar, el monitoreo de la actividad física de los estudiantes se convierte en todo un reto por la gran cantidad de datos que necesitan ser capturados.

De acuerdo con Hōrak (2019), la pandemia global ha logrado afectar significativamente la salud física de los niños y adolescentes, provocando un estilo de vida más sedentario, es por ello que con el retorno a las clases presenciales, la obesidad infantil se puede ver con más frecuencia. Este trabajo destaca la importancia de llevar a cabo el monitoreo de la actividad física infantil de manera no intrusiva, es decir utilizando cámaras especializadas apoyadas con algoritmos de inteligencia artificial, frente a otros métodos intrusivos como los accesorios wearables o incluso subjetivos como el método de observación de los docentes de Educación Física, que alteran la calidad de los datos, no necesariamente por las desventajas que estas propuestas ofrecen en su aplicación, sino también por la naturaleza infantil en la realización de actividades físicas. Por otro lado, se cree que existe una relación entre la mejora de actividad física y el espacio que se dispone para la realización de esta, sin embargo, no hay evidencia suficiente para asegurar esto. Caso contrario, debido al incremento del uso de smartphones desde edades muy tempranas, existen suficientes resultados positivos respecto al aprovechamiento de mecanismos de recompensa neuroquímica en la industria de los videojuegos para la mejora de la salud física en los estudiantes. Todos estos datos son relevantes para tomar en cuenta en nuestra propuesta de investigación, no considerar la ludificación en el desarrollo de un proyecto orientado al sector infantil, podría no alcanzar los mejores resultados.

Como alternativa al monitoreo de actividad física utilizando métodos tradicionales, se continúan realizando estudios utilizando cámaras de profundidad y algoritmos de visión computacional.

Tal es el caso de la investigación propuesta por Moreno et al. (2019), que con el objetivo de comprobar que los parques infantiles interactivos en Holanda sirven realmente para promover la actividad física, realizaron la medición de cantidad de actividad física realizada en una muestra de 32 niños, donde obtuvieron resultados positivos además de rescatar este modelo como una forma de medición automatizada y discreta de juegos de niños en tiempo real.

Así mismo, existen estudios como el de Carlson et al. (2020) donde propusieron combinar dos métodos de medición de actividad física para la evaluación automática en parques y patios escolares, incorporaron un acelerómetro a cada persona que participó en la muestra del estudio para poder clasificar el nivel de intensidad de la actividad que ejercía. Además de recolectar 27 horas de video utilizando cámaras fijas, todos estos datos sirvieron para el entrenamiento del algoritmo de visión computacional. Los resultados de este estudio también fueron favorables, convirtiendo a estos algoritmos como prometedores para el monitoreo de actividad física en estos entornos. Además, demuestran más ventajas que los métodos tradicionales, reduciendo el costo de esta, la subjetividad de los datos y el seguimiento que podría realizarse a partir de su implementación.

Las pruebas de aptitud física requieren de un alto nivel de precisión al momento de la evaluación de cada ejercicio realizado, en términos de hardware podemos decir que la recopilación de datos de aptitud física demanda mayor esfuerzo de procesamiento comparándolo con la recopilación de datos de actividad física en general. Por ejemplo el estudio de Wang & Chen (2021) menciona la importancia de encontrar una equivalencia correcta de CPU y GPU para las pruebas que vayan a ser ejecutadas, esto debido a que en este tipo de medición importa identificar cual es el movimiento que sigue el cuerpo de la persona, para poder definir con los datos del movimiento de la persona, si es que el movimiento corresponde a un ejercicio realizado correctamente, en caso de no ser así puede deberse a dos principales motivos, el primero que la persona tuvo un error cuando realizó el movimiento o segundo que la tasa de reconocimiento efectiva del sistema de medición no es lo suficientemente alta. En la prueba de abdominales realizada nueve de cada diez repeticiones pueden contarse con precisión lo que significa un 90% de tasa de reconocimiento del sistema que ellos proponen. Esto significa que tienen la precisión y rendimiento aceptables para la utilización del sistema en pruebas de aptitud física en estudiantes.

El curso de educación física durante la etapa escolar continúa siendo, en la mayoría de casos, uno de los cursos que mantienen los métodos de enseñanza tradicionales, de acuerdo con Xie (2021) estos métodos no motivan el aprendizaje de los alumnos durante el desarrollo de la clase. Además, los autores destacan la necesidad que deberían tener los colegios en innovación de metodologías y contenido del curso de Educación Física, debido al avance de la tecnología y la importancia de motivar el ejercicio físico en los estudiantes.

Las capacidades y potencial que tiene el uso de dispositivos Kinect DK se muestran en el trabajo de Uhlár et al. (2021), el cual les permitió evaluar de manera concreta y detallada los ángulos de movimiento que presentan voluntarios al momento de realizar la sentadilla de una sola pierna a una silla, enfocados en pacientes que presentan rotura del ligamento cruzado anterior y osteoartritis. El uso de un sistema óptico sin marcadores amplía las posibilidades de evaluar los problemas funcionales en las extremidades inferiores para los profesionales médicos, además de ser considerado no intrusivo, de bajo costo y de rápida implementación. La investigación demuestra y detalla las capacidades del Azure Kinect DK como una guía para nuestra investigación.

En el trabajo de Lee et al. (2021) podemos ver un ejemplo de uso de múltiples cámaras Kinect enfocadas en identificar a una persona bajo diferentes perspectivas. Usando su investigación como guía técnica y estándar de utilización de tres dispositivos Kinect DK, para la configuración del laboratorio de pruebas y aplicar las capacidades más avanzadas del Kinect, utilizando diferentes perspectivas para afinar el registro global del seguimiento, además de analizar ángulos de manera más detallada y precisa.

También podemos interpretar la información proporcionada por el Kinect DK, como es el caso de la investigación de Kramer et al. (2020), en la cual desarrollan un sistema de monitoreo de adultos mayores con riesgo de caída, que logra identificar dichos riesgos ocurriendo en tiempo real y notifica al personal técnico para que ayuden o asistan al paciente. Esta investigación nos

demuestra que el Kinect DK permite acceder y transformar datos de manera rápida y eficaz, lo cual nos facilitará el posible uso de los datos en tiempo real y en posibles sistemas predictivos.

Sin embargo, el Kinect DK sigue siendo un sistema sensible y de alto calibre, por lo que es necesario entender qué características funcionan para nuestro proyecto y de qué manera. Romeo et al. (2022) en su investigación proporcionan un análisis y discusión acerca de las características y enfoques de calibración para 2 cámaras Azure Kinect DK y las diferentes metodologías de enfoque 2D y 3D. Su trabajo es particularmente útil para nuestro proyecto puesto que nos proporcionará una metodología probada y eficiente al momento de usar el Kinect DK.

Adicionalmente Gonzalez-Franco et al. (2020) presentan en su trabajo un set de herramientas de código abierto para animar movimientos, cuya captura de movimientos fue realizada con el Azure Kinect. Los autores también analizan la efectividad de diferentes dispositivos durante su investigación. Su trabajo nos puede guiar al momento de querer analizar video no en vivo y podemos usar su código abierto como guía.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Visión Computacional

Es una disciplina científica que incluye métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real con el fin de producir información numérica o simbólica para que puedan ser tratados por un ordenador (Klette, 2014).

2.3.2. Aptitud Física

Un estado de bienestar que permita: desarrollar las tareas diarias con vigor, reducir el riesgo de problemas de salud asociados a la falta de ejercicio y establecer una base de aptitud que permita desarrollar diferentes actividades físicas (Pangrazi & Hastad, 1989).

2.3.3. Evaluación de Aptitud Física

Proceso de interpretación de la medición, recopilada en relación a la aptitud física y determinar algún valor. Muchas veces, esta interpretación del valor se hace comparando los resultados con criterios u objetivos predeterminados. Sin la disponibilidad de pruebas y las mediciones resultantes, el proceso evaluativo carecería de información importante necesaria para tomar decisiones informadas e imparciales. (Pangrazi & Hastad, 1989)

2.3.4. Azure Kinect DK

Azure Kinect DK es un kit de desarrollo con sensores de inteligencia artificial avanzados que proporcionan sofisticados modelos de voz y de visión artificial. Kinect contiene un sensor de profundidad, una matriz de micrófonos espaciales con una cámara de video y un sensor de orientación en un dispositivo pequeño todo en uno con varios modos, opciones y kits de desarrollo de software SDK. (tesych, 2023)

2.3.5. SDK

Un kit de desarrollo de software (SDK) es generalmente un conjunto de herramientas de desarrollo de software que permite a un desarrollador de software crear una aplicación informática para un sistema concreto, por ejemplo, ciertos paquetes de software, entornos de trabajo, plataformas de *hardware*, computadoras, videoconsolas, sistemas operativos, entre otros. (Shamsee et al., 2015)

2.3.6. LightBuzz

LightBuzz es un SDK especializado en seguimiento corporal por medio de visión computacional. Presta sus servicios, es decir, acceso a sus librerías y apoyo técnico, a diversas empresas reconocidas. También proporciona servicios bajo licencia académica (*Body Tracking for iOS, Android, macOS, Windows, and Linux*, s. f.).

2.3.7. CRISP-DM

Proceso estándar intersectorial para minería de datos “Cross-Industry Standard Process for Data Mining” es considerada como una metodología para orientar un proyecto de minería de datos. En términos generales, la metodología CRISP-DM contempla seis etapas de desarrollo. La primera siendo el entendimiento del negocio o requisitos, seguida del entendimiento de los datos necesarios, luego el procesamiento de los datos, el modelado de la solución y evaluación de la misma. Finalmente, se realiza el despliegue del proyecto, considerando que la secuencia de las etapas no es estricta. (*IBM Documentation*, 2021)



CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcances y Limitaciones

3.1.1. Alcances

Se planea desarrollar un sistema multiplataforma basado en visión computacional, el cual nos permita evaluar de manera eficiente la aptitud física de los estudiantes por medio de dos versiones del sistema, la primera a desarrollar será la versión de escritorio, que será de utilidad en la fase de recolección de datos de aptitud física de los escolares, todo esto en un ambiente de laboratorio. La segunda versión a desarrollar es la versión móvil, la cual contendrá los datos recopilados en la fase previa para poder realizar las pruebas de aptitud física en un entorno externo controlado por el profesor correspondiente.

A. Viabilidad

Se considera viable el proyecto principalmente debido a la gran cantidad de investigaciones similares recopiladas y debido a ser parte de un proyecto de investigación de mayor alcance patrocinado por la UCSM.

B. Tiempo

Aproximadamente un año.

C. Financiación

El proyecto está financiado por la UCSM en cuanto al asesoramiento y los dispositivos, cámaras Azure Kinect DK, cámaras Canon EOS M50 Mark II y ambientes de trabajo.

3.1.2. Limitaciones

Las principales limitaciones de la investigación se presentan en sus resultados, el primero siendo el sistema en la versión de escritorio el cual trabajara únicamente en Unity y no presenta capacidades autónomas o automáticas de evaluación de estudiantes. También en el caso de la versión móvil, el cual debido a ser móvil pierde un grado no insignificante de confiabilidad, adicionalmente sólo busca apoyar a la evaluación de estudiantes, no automatizar dicha evaluación. Finalmente cabe recalcar, que el sistema únicamente tendrá datos de los alumnos que fueron voluntarios, dichos datos no incluyen información privada o sensible, y debido al origen de datos de alumnos se indica no generalizar las conclusiones a ambientes distintos como ambientes con diferente altura, etnia común, entre otras características físicas comunes.

Como último punto es necesario delimitar el sistema como un prototipo de prueba de concepto, es decir, el software resultado no está en un nivel comercial o piensa ser utilizado por el público general. Esta investigación se limita únicamente a probar el prototipo en casos de estudio limitados a aquellos profesores de colegios que accedieron a participar con la Universidad Católica de Santa María en dicha investigación.

3.1.3. Análisis de costos

Para llevar a cabo la investigación se necesita equipamiento especializado y personal de trabajo capacitado, por ende, en la Tabla 3 se lista el costo aproximado por mes de trabajo por cada tesista, mientras que los costes estimados del equipo y ambiente de trabajo se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Coste de trabajo de tesistas por mes.

Persona	Luz	Internet	Tiempo Persona	Total
Dos tesistas	S/. 80	S/. 150	S/. 1000	S/. 2230

Nota. El costo puede variar en base a temas personales y del proyecto.

Tabla 4.

Coste de equipos y software.

Equipamiento	Cantidad	Costo	Total
Computadora	1	S/. 8000	S/. 8000
Cámaras Azure Kinect DK	2	S/. 3500	S/. 7000
Cámaras Canon EOS M50 Mark II	2	S/. 4500	S/. 9000
LightBuzz SDK (Academic License)	1	S/. 3872.50	S/. 3872.50

Nota. El costo puede variar en base al contexto del proyecto.

3.2. Aporte

El objetivo del proyecto es aportar un sistema multiplataforma de visión computacional que permita analizar el video proporcionado de un alumno realizando ejercicios de aptitud física y que el sistema permita determinar si el alumno realiza de manera apropiada los ejercicios y de esta manera apoye al profesor correspondiente al momento de evaluar su aptitud física en el curso.

Se espera que el proyecto sirva de motivación a los colegios y docentes del curso de educación física de nuestra localidad en la inversión y uso de esta tecnología para mejorar sus evaluaciones, realizar el monitoreo de niveles de aptitud física en los escolares, además de servir como referencia para trabajos futuros que deseen utilizar la visión computacional en este contexto.

3.3. Enfoque y Diseño de la Investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo puesto que los datos serán extraídos de videos capturados con Azure Kinect DK y con las cámaras Canon, para ser analizados posteriormente.

El diseño es experimental puesto que se verificará la validez de los datos recopilados por medio de consulta a expertos y finalmente con un caso de estudio con el aplicativo móvil final.

3.4. Tipo y Nivel de la Investigación

La investigación es de tipo experimental, puesto que resulta en un software que validará la aplicación de visión computacional como apoyo en la evaluación de aptitud física en escolares. El nivel será experimental debido a la verificación de funcionalidad del sistema multiplataforma final y de los datos utilizados y recolectados.

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

Estudiantes entre 8 y 19 años de edad en colegios de la ciudad de Arequipa.

3.5.2. Muestra

Estudiantes del curso de Educación Física que tienen consentimiento de participar en el estudio $N = 284$.

3.5.3. Método de muestreo

Probabilístico.

3.6. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.6.1. Métodos

Pruebas de aptitud física.

3.6.2. Instrumentos

Cámara Azure Kinect DK, cámaras Canon EOS M50 Mark II, Computadoras especializadas, cuestionario.

3.6.3. Recolección de Datos

Cámara Azure Kinect DK, cámaras Canon EOS M50 Mark II, pruebas de aptitud física, cuestionario.

Tabla 5.

Técnicas, definición e instrumento.

Técnica	Definición	Instrumento
Documental	Cantidad de documentos que se pueda encontrar con el fin de recopilar información útil para el proyecto.	Bases de datos documentales (Web of Science, IEEE).
Muestra	Mediante el dispositivo Azure Kinect DK y cámaras Canon se podrán realizar las grabaciones correspondientes para ejercicios definidos en el estudio, los datos se limpiarán y almacenarán en una base de datos para la elaboración correcta de percentiles.	Azure Kinect DK, Cámaras Canon.

Validación	Se llevarán a cabo pruebas en un entorno de laboratorio con el software de escritorio, validadas por los profesores de educación física y los especialistas, posteriormente también se implementará la versión de aplicativo móvil para realizar pruebas en un ambiente real.	Dispositivos móviles con Android 10 en adelante. Software de escritorio implementado en Unity.
------------	---	---

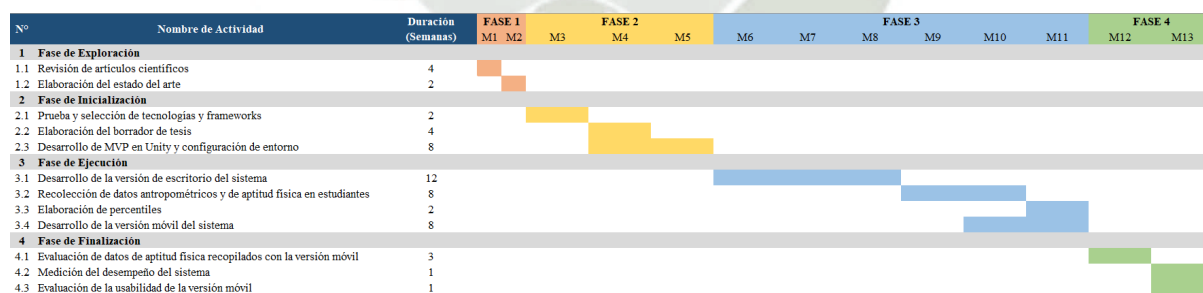
3.7. Plan de Análisis Estadístico de los Datos

Se utilizarán las herramientas de software Microsoft Excel, Google Sheets y Power BI para el procesamiento adecuado y detallado de los datos.

3.8. Plan de Trabajo

Se utilizó la herramienta GanttPRO (2023) de forma colaborativa con los participantes del proyecto, para permitir un seguimiento adecuado de los hitos y actividades planificadas, como se visualiza en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama Gantt del proyecto.





4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La naturaleza de nuestro proyecto de investigación, y el análisis de datos complejos, implica la necesidad de utilizar una metodología de desarrollo enfocada al uso de técnicas de inteligencia artificial y de minería de datos. Por ello se evalúan metodologías comúnmente utilizadas en aplicaciones de inteligencia artificial y minería de datos.

Según lo observado en el estado del arte, no se tiene una metodología única a utilizar. Sin embargo, se limita la evaluación a las tres metodologías más utilizadas. La primera siendo la metodología KDD, la segunda la metodología SEMMA y finalmente la metodología CRISP-DM. Para esta evaluación se seleccionaron los siguientes criterios. Enfoque, donde se analiza la naturaleza de la metodología y como se aplica al proyecto presentado. Si se aplica fácilmente obtiene máximo puntaje, caso contrario mínimo puntaje. Por ende, a este criterio se le asigna el peso de 1. El segundo criterio viene a ser su uso general, es decir, el tipo de ambiente en el que comúnmente se utiliza la metodología. Mientras más seguido se utiliza la metodología en proyectos similares obtiene un puntaje mayor. Por ende, se asigna un peso de 3.

Finalmente evaluamos la relevancia actual, es decir, que tan común es usar esta metodología. Nos basamos en su uso según los artículos revisados en el estado del arte y una búsqueda general. Según su uso se le asigna un peso de 2. Los criterios de evaluación descritos se pueden visualizar en la Tabla 6. Estos pesos se asignaron según la importancia percibida por los tesisistas para el desarrollo del proyecto. Posteriormente, se asignó un puntaje en la escala del 0 al 5 a cada criterio, donde 5 es la satisfacción completa.

Tabla 6.

Criterios de evaluación para la metodología a utilizar.

Criterio	Peso
Enfoque	1
Uso	3
Relevancia	3

La comparación de metodologías se presenta en la Tabla 7. Donde se obtiene como la más apropiada para nuestro proyecto a la metodología CRISP-DM con una puntuación de 28 puntos.

Tabla 7.

Evaluación de metodología.

Metodología	Enfoque	Uso	Relevancia	Ponderado final
CRISP-DM	Puntaje: 4	Puntaje: 4	Puntaje: 4	28
	Ponderado: 4	Ponderado: 12	Ponderado: 12	
KDD	Puntaje: 2	Puntaje: 3	Puntaje: 2	17
	Ponderado: 2	Ponderado: 9	Ponderado: 6	
SEMMA	Puntaje: 2	Puntaje: 2	Puntaje: 2	14
	Ponderado: 2	Ponderado: 6	Ponderado: 6	

4.1. Entendimiento del Negocio

Para poder desarrollar una solución adecuada, es necesario entender el problema, el cual viene a ser, la subjetividad actual en las evaluaciones de aptitud física en los colegios de Arequipa, además de la carencia de un protocolo de recolección y digitalización de este tipo de datos. De lo analizado se identificó a un usuario objetivo del software propuesto, el cual viene a ser el profesor de educación física. Además, se identificaron dos participantes importantes, el alumno a evaluar y su apoderado o padre de familia, debido a que el alumno será el ejecutor de las pruebas de aptitud física y el padre debería ser el informado sobre su rendimiento.

4.1.1. Descripción de entorno y requisitos

Se logra identificar tres entornos de uso, el primero delimitado como un ambiente de laboratorio, donde realizamos las pruebas iniciales y donde se utilizaron las cámaras Azure Kinect DK. El segundo delimitado como ambiente de campo, es decir, los colegios donde se tomaron los datos de los estudiantes utilizando las cámaras Canon. Finalmente, el ambiente de validación, el cual se lleva a cabo por medio de un dispositivo móvil, y es realizada por los profesores de educación física.

Cada uno de estos entornos tienen diferentes características y requisitos. El primero es un ambiente bastante controlado, donde se puede realizar las pruebas con las cámaras Azure Kinect y el software ejecutándose en la estación de trabajo. Aquí se puede controlar el nivel de iluminación, la cantidad de tomas del ejercicio y otras variables a tomar en consideración al momento de realizar las pruebas. En este entorno solo es necesario recolectar datos de alta precisión utilizando las cámaras Azure Kinect, recopilar y luego analizar los datos recolectados. Por ende, únicamente se necesita que cada módulo de evaluación de prueba funcione independientemente, se pueda tomar datos de los ejercicios realizados y se pueda ejecutar a discreción.

El segundo entorno considerado son los colegios de la provincia de Arequipa que aceptaron participar en el estudio. En este caso no se puede transportar la estación de trabajo, ni las cámaras Kinect, debido a su fragilidad y carencia de ambiente de trabajo adecuado donde se pueda colocar todo el equipamiento necesario. También existe un tiempo muy limitado para realizar la captura de las evaluaciones, debido a que los alumnos y los profesores tienen otras actividades a realizar. Por ende, se utilizó las Cámaras Canon, con el fin de realizar las grabaciones de las pruebas de aptitud física de manera eficaz y rápida. Dichos videos luego son procesados en la versión de escritorio del software desarrollado, para permitir el análisis utilizando técnicas de visión computacional y los resultados puedan ser comparados con los

datos de control tomados en el campo. En este caso solo es necesario que el sistema pueda recibir y analizar videos previamente grabados, con el fin de extraer los datos de valor por cada ejercicio.

El tercer entorno viene a ser el entorno de validación, donde después de haber recolectado y analizados los datos y obtenidos los percentiles de nivel de aptitud física de estudiantes, estos puedan ser utilizados para determinar los resultados del rendimiento del alumno en las pruebas e indiquen si está por encima del promedio de aptitud física, en el promedio o por debajo del promedio según su edad y género. En este caso se necesita únicamente que el sistema pueda ser utilizado en un entorno móvil, donde el profesor grabe a un alumno mientras realiza la prueba, el sistema analiza el ejercicio realizado e indique el nivel de aptitud física del alumno. En este contexto el profesor debe ingresar los datos antropométricos del alumno y luego tomar el video de la prueba realizada.

Para cada uno de los entornos existen requisitos de hardware necesarios. En el caso del entorno de laboratorio, con el fin de obtener la mejor precisión posible y debido también al uso de las cámaras Azure Kinect, se utilizó una laptop de alta gama, cuyas características se pueden apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8.

Requerimientos de hardware por entorno.

Entorno		Características Técnicas				
		Sistema Operativo	Procesador	Tarjeta Gráfica	Memoria RAM	Almacenamiento
Laboratorio - Campo	Mínimo	Windows 10	Intel Core I7 Gen i5	GTX 1050	8GB	SSD 250G
	Ideal	Windows 11	Intel Core I9	RTX 3070 +	16GB	1TB M.2 SSD +
Aplicativo Móvil	Mínimo	Android 10 +	Snapdragon 845 +	-	8GB	128 GB

Si se busca replicar los resultados obtenidos en estos ambientes, se recomienda tener hardware de similar o superior potencia.

4.2. Entendimiento de los Datos

4.2.1. Descripción de pruebas de aptitud física

Para la selección de la batería de pruebas sobre aptitud física, se tuvieron propuestas de parte de los especialistas del área pertenecientes a nuestro proyecto de investigación, en las que se evaluaron la viabilidad de las pruebas implementadas por ellos mismos en Cossio-Bolaños & Arruda (2009) y Espinoza et al. (2022) además, estas fueron validadas técnicamente por nosotros los tesisistas, en base a los límites tecnológicos que las cámaras mencionadas anteriormente podrían ofrecernos. Inicialmente, se consideraron seis pruebas, una de caminata de seis minutos, otro de carrera de mayor velocidad de veinte metros, seguida de una de carrera de cinco metros ida y vuelta diez veces, una prueba de salto máximo horizontal, una prueba de flexibilidad sentada y finalmente una prueba de cantidad máxima de abdominales en 30 segundos.

Debido a las limitaciones de hardware en las cámaras Kinect, donde sufren una fuerte caída en precisión a cualquier toma de datos donde el sujeto evaluado se encuentra a más de cinco metros de distancia de la cámara y a limitaciones de software, donde también se pierde gran precisión en la identificación de articulaciones y sujetos a mayor distancia de cinco metros, las primeras tres pruebas de resistencia no pueden ser tomadas con el software y hardware actual. (Azure Kinect DK, 2023)

Las últimas tres pruebas, sin embargo, si fueron factibles, adicionalmente se incorpora una cuarta prueba que permite medir fuerza y resistencia de cuerpo superior, denominada flexión de bíceps.

La primera prueba es denominada como salto horizontal sin impulso, la cual consiste en que el estudiante se posiciona con los dos pies juntos en la línea de inicio de la prueba, al costado de una cinta métrica. Cuando se le da una señal al estudiante, este salta con los dos pies juntos lo más lejos que pueda horizontalmente, luego se toma una medición de control en el punto que

marca la caída de las puntas de ambos pies. De esta forma, el estudiante ha culminado con una repetición de la prueba, por lo que puede volver al punto de inicio a realizar el salto nuevamente. Se realizan tres saltos, se considera el salto más largo. Para los fines de nuestro proyecto consideramos el promedio de salto entre los tres realizados correctamente. (Castro-Piñero et al., 2010)

Para la segunda prueba el estudiante deberá sentarse con las piernas estiradas en el piso. Estirar sus manos de manera que estén paralelas al piso en una posición relajada. Una vez se le indique, el estudiante trata de llevar las puntas de sus dedos hasta o inclusive superando las puntas de sus pies sin doblar las rodillas o despegándose del suelo. Se mide la distancia recorrida por las puntas de los dedos desde la posición de relajo hasta la posición de estiramiento máximo. El estudiante realiza este estiramiento tres veces y se toma la medición más larga. Para los fines de nuestro proyecto consideramos el promedio de estiramiento entre los tres realizados correctamente. (Wells & Dillon, 1952)

La tercera prueba consiste en que el estudiante se posiciona en una colchoneta, echado mirando hacia el techo. Dobla sus rodillas 90 grados y coloca sus manos detrás de su cabeza o las cruza en el pecho. Con los pies en el suelo y sin utilizar las manos como apoyo o para darse impulso luego de una señal el estudiante procede a realizar cuantos abdominales pueda durante 30 segundos. Se cuentan todas las buenas repeticiones realizadas en dicho periodo de tiempo. Por ende, este ejercicio consta de dos fases distintas, la primera siendo la fase de extensión o relajo, donde el estudiante se estira completamente en el piso o colchoneta y la fase de flexión o contracción, donde el estudiante flexiona sus abdominales para llevar su mentón lo más cercano que pueda a sus rodillas. (Cossio-Bolaños & Arruda, 2009)

La cuarta y última prueba consiste en la flexión del brazo más hábil del estudiante utilizando una mancuerna regulable, la cual cambia de peso según la edad del estudiante, como se aprecia

en la Tabla 9. El estudiante debe realizar flexiones y extensiones del brazo que sostiene la mancuerna. Debe repetir estas flexiones cuantas veces pueda durante treinta segundos. Entonces esta prueba nuevamente consiste en dos fases distintas, la fase de flexión y la fase de extensión. Para la fase de flexión el alumno deberá iniciar la prueba con los brazos estirados y posteriormente llevar la muñeca lo más cercano a su hombro, mientras que en la fase de extensión el alumno debe regresar su muñeca a la posición de inicio de la prueba, es decir con sus brazos estirados. Solo se cuenta una repetición si el alumno realiza ambas fases correctamente. El codo del estudiante debe de mantenerse pegado a su torso y no debe existir movimiento exagerado de torso durante las repeticiones. (Kostek & Knortz, 1980)

Tabla 9.

Peso de mancuernas según edad.

Edad	Mujeres	Hombres
10	1.5 kg.	1.5-3.0 kg.
11	1.5 - 3.0 kg.	1.5-3.0 kg.
12	3 kg.	3.0-4.0 kg.
13	3.0 - 4.0 kg.	3.0-4.0 kg.
14	4	4.0-5.5 kg.
15	4.0 - 5.5 kg.	4.0-5.5 kg.
16	4.0 - 5.5 kg.	6.0-10.0 kg.
17	4.0 - 5.5 kg.	6.0-10.0 kg.
18	4.0 - 5.5 kg.	6.0-10.0 kg.

4.2.2. Características de las cámaras

Uno de los puntos fundamentales para el desarrollo de nuestra propuesta es la utilización de sensores que capturen los movimientos de las personas en las diferentes pruebas definidas, es por ello que se realizó la comparación de tres cámaras en su uso más adecuado de acuerdo a las ventajas que cada una representaba según sea el entorno. En la Tabla 10 podemos apreciar dicha comparación, donde rescatamos que las cámaras Microsoft Kinect DK son las ideales en pruebas de laboratorio, debido a la especialización de sus sensores para el objetivo de nuestro estudio. (*Azure Kinect DK: Microsoft Azure, s. f.*)

Las cámaras Canon EOS m50 MarkII fueron las utilizadas en las pruebas de campo, debido a su alta facilidad de transporte como su acercamiento de configuración lógica a cámaras en dispositivos móviles. Finalmente, para la validación del proyecto se consideró el uso de una cámara de dispositivo Android. (Canon EOS M50 Mark II, s. f.)

Tabla 10.

Capacidades técnicas de las cámaras utilizadas.

Aspecto/Cámara	Microsoft Kinect DK	Canon EOS m50 MarkII	Cámara Android
Tipo de Sensor	RGB + Profundidad	RGB	RGB
Calidad de gráficos	(1280x720) + (640x576)	1280x720	1280x720
Fotogramas por Segundo	30FPS	60FPS	30FPS

4.2.3 Descripción de alto nivel de la solución

Tomando en cuenta lo descrito en las secciones anteriores, y con conocimiento en bases generales de la estructura del software y su desarrollo en Unity, se delimitan las siguientes secciones.

A. Módulos

Cada módulo es una escena en Unity, donde cada escena consiste del código necesario para evaluar una prueba individual. Por ende, se tienen cuatro escenas, la primera denominada “HorizontalJump”, la cual se usa para la medición de salto horizontal, la segunda se denomina “FlexibilityTest” y mide la prueba de flexibilidad sentada, la tercera se denomina “SitUpCounter” y cuenta la cantidad de abdominales realizados en un periodo de tiempo, la última se denomina “BicepCurlCounter” y cuenta la cantidad de flexiones de bíceps con una mancuerna, que se realizan en un periodo de tiempo determinado. Adicionalmente se necesitan interfaces descriptivas de cada prueba y el ambiente necesario para que los videos tomados de los ejercicios puedan ser procesados por el código con la mayor precisión posible. Cada una de

estas descripciones incluye un ejemplo de la prueba a ser realizada, en el cual se muestra la técnica a ejecutar por el alumno.

B. Integración

La integración de estas escenas se realiza por medio de un menú, el cual también es una escena desde donde se permite seleccionar la prueba a evaluar, de allí se direcciona a la escena y se inicia esta misma para realizar la evaluación correspondiente.

C. Multiplataforma

Una vez completada la captura de todos los datos y obtenidos los percentiles, se realiza la exportación del sistema en su versión móvil, donde el profesor de educación física pueda ingresar los datos antropométricos del alumno en un formulario, se pueda seleccionar la prueba a evaluar, luego proceda a grabar la prueba y al final se muestre los resultados del rendimiento del alumno en la prueba y como se encuentra el estado actual del alumno en comparación con los percentiles generados.

4.3 Comparación y Selección de Framework

En la Tabla 11 se observan los criterios de selección del framework a utilizar y los pesos asignados a cada uno.

Tabla 11.

Criterios de evaluación para el framework a utilizar.

Criterio	Peso
Precisión	2
Accesibilidad al hardware	3
Portabilidad a desarrollo móvil	5

Se determina el criterio de precisión como el nivel de acierto que cada framework facilita al momento de evaluar las pruebas determinadas. Este criterio es significativo, pero no tiene el mayor peso debido a que puede ser sobrellevado con un mejor desarrollo de algoritmos de evaluación de ejercicios y un mejor control del ambiente de evaluación.

El criterio de accesibilidad al hardware hace referencia a que el framework permita y facilite la utilización de las cámaras y sensores Azure Kinect. No obstante, al no ser las únicas cámaras a utilizarse, este criterio tampoco tiene asignado el mayor peso. Sin embargo, debido a la necesidad de acceder al hardware se descarta cualquier otro framework que no cuente con acceso a las cámaras y sensores Azure Kinect.

El último criterio utilizado hace referencia a la capacidad de portar el software desarrollado en versión de escritorio a una versión de aplicativo móvil. Como la validación de esta investigación se realiza por medio de un aplicativo móvil, este criterio tiene el máximo peso asignado.

Se utiliza una escala de máxima puntuación de 5 puntos, debido a la facilidad de entendimiento, donde 5 representa el 100% de cumplimiento de los criterios y 0 representa el 0% de cumplimiento.

Inicialmente se utilizó únicamente las funciones del SDK de Azure Kinect, acompañado con el libro guía “Mastering the Microsoft Kinect” del autor Pterneas (2022). Bajo este framework se desarrollaron las pruebas iniciales. Sin embargo, al realizar pruebas de prototipo con dos evaluaciones de aptitud física en 50 alumnos de la UCSM, como línea base se obtuvo únicamente un 79.92% de precisión, demostrada en la investigación Sulla-Torres et al. (2023). Este era un nivel de precisión aceptable, pero no ideal. Adicionalmente, debido a la utilización del SDK de Azure Kinect, el software desarrollado solo funcionaría con las cámaras Azure Kinect, lo cual dificultaría su futura exportación a un ambiente móvil. Por lo tanto, después de una búsqueda exhaustiva de diferentes opciones, y analizando beneficios vistos en la

investigación de Ivorra et al. (2021) decidimos que la utilización de un SDK que se base en las capacidades del Azure Kinect y las expanda sería el más adecuado para el proyecto.

Entonces, se decidió por adquirir una licencia académica para LightBuzz. Este software, el cual inicia con las funciones del SDK de Azure Kinect, permite que dichas funciones se ejecuten con cualquier tipo de cámara y sean fácilmente importados a un ambiente móvil. Adicionalmente, una vez implementadas las pruebas en este software se obtuvo un porcentaje de precisión del 95% en las pruebas de laboratorio iniciales, lo cual es una mejora bastante significativa en comparación a la opción de código libre. («LightBuzz Academic», s. f.)

Entonces, la comparación de frameworks se presentan en la Tabla 12. Donde se obtiene como el más apropiado para nuestro proyecto al framework LightBuzz con una puntuación de ocho puntos.

Tabla 12.

Evaluación de frameworks.

Framework	Precisión	Accesibilidad al hardware	Portabilidad a desarrollo móvil	Ponderado final
Azure Kinect	Puntaje: 3	Puntaje: 5	Puntaje: 0	21
SDK Nativo	Ponderado: 6	Ponderado: 15	Ponderado: 0	
LightBuzz	Puntaje: 4	Puntaje: 5	Puntaje: 4	43
	Ponderado: 8	Ponderado: 15	Ponderado: 20	

Se asigna un 4 como portabilidad a LightBuzz debido a que necesita usar Unity 3D para el desarrollo móvil. Unity es un excelente motor de edición 3D y desarrollo, pero no es ideal para el desarrollo de aplicativos móviles. No obstante, debido a que permite el desarrollo a diferencia de Azure Kinect SDK, recibe la puntuación mostrada.

En el caso del Azure Kinect SDK, no permite la utilización del software desarrollado utilizando sus librerías y funciones en ambientes de aplicativo móvil. Por ende, sería necesario utilizar

otro SDK de visión computacional para el desarrollo del aplicativo, lo cual solo complica la investigación. Es por esto que recibe un 0 en dicho criterio.

Como parte del criterio de accesibilidad al hardware, ambos frameworks permiten el acceso completo a todas las funciones de los sensores Azure Kinect, por ende, ambos reciben máxima calificación en este criterio.

Finalmente, en el criterio de precisión, el framework de Azure Kinect Nativo recibe tres puntos, debido a permitir solamente un nivel de precisión de alrededor de 70%, el cual no es comparable a otras investigaciones similares vistas en el estado del arte.

Por otro lado, LightBuzz permitió un nivel de precisión cercano al 95%, un nivel muy similar a investigaciones observadas, por ende, recibe cuatro puntos (Wang & Chen, 2021) (Uhlár et al., 2021).



CAPITULO V

5. MODELADO

5.1. Implementación de Versión de Escritorio

La implementación inicia con el desarrollo de la versión de escritorio del software. Una vez se implementó un prototipo funcional de esta versión se procedió a recolectar datos en el entorno de campo, los cuales son necesarios para el futuro desarrollo móvil.

5.1.1. Ambiente de Trabajo

Debido al SDK utilizado, LightBuzz en su versión “5.5.0”, fue necesario realizar todo el desarrollo en Unity, puesto que esta herramienta permite un desarrollo multiplataforma. La versión del editor utilizada fue “2022.3.0f1 LTS”, debido a las recomendaciones proporcionadas por LightBuzz. Se realizó toda codificación en el lenguaje C#, nativo a Unity, utilizando Visual Studio 2022, todo esto ejecutado en el sistema operativo Windows 11.

5.1.2. Librerías y Arquitectura de Código

Se utilizaron las librerías y arquitectura proporcionada por defecto por Unity y las del SDK de LightBuzz. Dichas librerías se utilizan con el espacio de trabajo “LightBuzz.BodyTracking”, como se puede observar a continuación en la Figura 2.

Figura 2. Importación de librerías en script C#.

```
using System;  
using System.IO;  
using System.Collections.Generic;  
using UnityEngine;  
namespace LightBuzz.BodyTracking
```

La arquitectura de código es la misma para todas las escenas, y consiste en una clase y tres funciones básicas, “Start ()”, la cual inicializa parámetros y se ejecuta al iniciar la escena, “Update ()”, en la cual se lleva a cabo la lógica de la prueba y se ejecuta constantemente hasta culminar el análisis del video de un ejercicio, la función “Angle()”, la cual permite medir el ángulo existente entre tres articulaciones y finalmente “onDestroy ()”, la cual destruye el objeto de clase y muestra los datos obtenidos sobre el ejercicio realizado y libera el espacio de memoria utilizado. Además, todas las clases comparten tres variables de configuración de sensor que permiten escoger si el código se ejecuta en tiempo real, con un video, con qué clase de sensor y referencias a las clases proporcionadas por LightBuzz que permiten visualizar el esqueleto y ángulos de cada alumno mientras realiza las pruebas. Esta estructura se puede observar a continuación en la Figura 3.

Figura 3. Arquitectura de código para las escenas de pruebas de aptitud física.

```

public class TestStructure : MonoBehaviour
{
    // Configuration Variables
    [SerializeField] private DeviceConfiguration _configuration;
    [SerializeField] private LightBuzzViewer _viewer;
    [SerializeField] public SkeletonAnglesManager _angles;
    // Sensor, camera or video to be analyzed
    private Sensor _sensor;
    private void Start()
    {
        _sensor = Sensor.Create(_configuration);
        _sensor?.Open();

        if (!File.Exists(_configuration.VideoPath))
        {
            Debug.LogError("Video file does not exist.");
        }

        if (_sensor == null || !_sensor.IsOpen)
        {
            Debug.LogError("Sensor is not open. Check the configuration settings.");
        }
    }

    private void OnDestroy()
    {
        _sensor?.Close();
        _sensor?.Dispose();
        getFinalResults();
        // Collect all generations of memory and wipes it.
        System.GC.Collect();
    }

    private void Update()
    {
        if (_sensor == null || !_sensor.IsOpen) return;
        // Captures the frame
        FrameData frame = _sensor.Update();
        // If no frame is captured it does nothing
        if (frame != null)
        {
            // Gets the bodies on screen
            List<Body> bodies = frame.BodyData;
            // Selects the body to be analyzed
            Body body = bodies.Default();
            // If it does not find a suitable body it does nothing
            if (body != null)
            {
                // Analyzes Joints and movements, changes depending on the direction the student is facing
            }
            // Loads the frame and angles to be seen on screen
            _viewer.Load(frame);
            _angles.Load(frame.BodyData);
        }
    }

    // Measures the angle of three joints, the angle is measured on 2 dimensions
    public float Angle(Joint upperJoint, Joint middleJoint, Joint lowerJoint)
    {
        float angle = Calculations.Angle(upperJoint.Position2D, middleJoint.Position2D, lowerJoint.Position2D);
        return angle;
    }
}

```

5.1.3. Lógica Implementada

La lógica utilizada para la medición de cada prueba difiere significativamente, no obstante, existe una función, “Angle()”, que se utiliza en todas las escenas. Dicha función permite medir el ángulo entre articulaciones por medio de una operación de vectores, donde se utilizan las articulaciones reconocidas como puntos de partida y llegada de vectores y se puede así obtener el ángulo entre articulaciones. Debido a que las cámaras Canon, como también la mayor cantidad de cámaras de celular, no tienen sensores de profundidad, se utilizaron coordenadas 2D para la medición de ángulos.

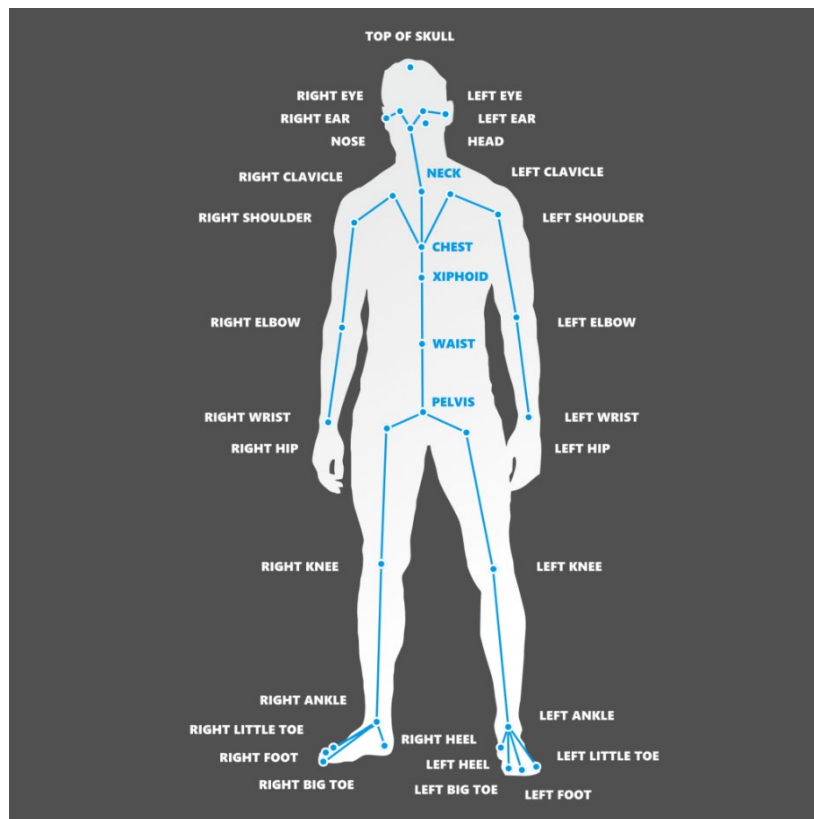
La primera escena, “HorizontalJump”, mide la distancia horizontal máxima de un salto del alumno y el cambio en angulación de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera al momento de realizar el salto. Para ello, es necesario medir la posición inicial de los pies del alumno. Las variables utilizadas para dichas mediciones se observan en la Figura 4.

Figura 4. Variables utilizadas para la prueba de salto horizontal.

```
//Feet initial position
float positionX;
float fpositionX;
//flag for initial position setting
bool flag_ini_position = true;
//angles of joints right before jumping
float min_knee_angle = float.MaxValue;
float min_hip_angle = float.MaxValue;
float min_ankle_angle = float.MaxValue;
//Distance measuring
float distance = 0.0f;
float maxdistance;
```

El salto es evaluado midiendo la distancia recorrida por la punta del pie del alumno, por ende, se utilizó la articulación “Right Foot” o “Left Foot” del mapa de articulaciones medibles por LightBuzz. Dicho mapa se muestra en la Figura Y. La selección de cual pie utilizar depende de la posición del alumno en relación a la cámara, tomando siempre el pie más cercano a la cámara. («Body joints», 2023)

Figura 5. Mapa de articulaciones proporcionado por LightBuzz.



Fuente: LightBuzz.

Para medir la distancia se almacenan los datos de posición inicial y posición final del pie. Sin embargo, debido a que se utilizan posiciones 2D, las cuales el SDK mide en píxeles, fue necesario aplicar una conversión apropiada de píxeles a centímetros. Buscando en investigaciones similares encontramos que no existe una conversión teórica única para la conversión de píxeles a centímetros. No obstante, se encuentra que se puede convertir de píxeles a centímetros en un video de “1280x720p” utilizando un factor de conversión, el cual fue empíricamente determinado como “0.26548”. Con este factor de conversión se obtiene un porcentaje de precisión, después de comparadas las medidas tomadas de forma tradicional por un evaluador humano, y la distancia estimada por el software. Se obtuvo en general un 93% de coincidencia entre las medidas tradicionales y las del software. Por ende, concluimos que el factor de conversión fue apropiado para el tipo de video y ejercicio tomado. Cabe recalcar, que dicho factor de conversión es utilizado únicamente cuando la cámara utilizada para la

evaluación no contiene un sensor de profundidad, caso contrario se puede utilizar coordenadas 3D, las cuales se miden en metros y permite una conversión sencilla. A continuación, en la Figura 6 se muestra el código utilizado para medir la distancia saltada.

Figura 6. Función para medir la distancia saltada.

```
public void getHorizontalDinstance()  
{  
    distance = fpositionX - positionX;  
    // For 2D measurements on a 1280x720p video  
    distance = (Math.Abs(distance) / 10) * 2.6548f;  
    // For 3D messurements  
    //distance = (Math.Abs(distance) * 100);  
}
```

Para la medición de ángulos se tomó en cuenta la máxima flexión de cadera, rodilla y tobillo realizada antes del salto.

La prueba de flexibilidad utiliza una lógica similar al ejercicio previamente explicado de salto horizontal, siendo la principal diferencia las articulaciones consideradas para calcular la distancia recorrida, que en este caso se mide la distancia recorrida por las muñecas. Se consideraron las muñecas como punto de medición debido a que la versión del SDK utilizado no reconoce articulaciones de manos o dedos. No obstante, debido a que se busca medir distancia recorrida, no impacta el punto que se utiliza para medir, sino la diferencia entre punto de inicio y punto final de movimiento. Para esta prueba también fue necesario usar el factor de conversión, “0.26548”, visto en la sección anterior. Finalmente se mide el ángulo del pecho, cadera y rodilla al que llega el alumno al momento de flexión máxima. En la Figura 7 se observan las variables y funciones principales utilizadas en la medición de la prueba de flexibilidad.

Figura 7. Variables y funciones para la prueba de flexibilidad.

```
//Distance measuring
float distance;
float maxDistance = 0;
//flag for initial position setting
bool inicial = true;
//angles of joints
float minhipangle = float.MaxValue;
//Wrist initial position
float positionX;
float fpositionX;

public float getWristDistance(Joint Wrist)
{
    return distance;
}

public void getInitialPosition(Joint wrist)
{
    positionX = wrist.Position2D.X;
    fpositionX = positionX;
}

public void getFinalPosition(Joint wrist)
{
    fpositionX = wrist.Position2D.X;
}
```

Las últimas dos pruebas de abdominales y flexión de bíceps utilizan una lógica similar entre ellas. En ambas pruebas, lo que se busca medir es un cambio del ángulo entre dos vectores. En el caso de la prueba de abdominales, los vectores considerados son el vector “A”, formado entre el punto céntrico del pecho y la pelvis en la fase de extensión, mientras que el vector “A” es la representación del mismo vector en movimiento. Además, el vector “B” está conformado por la pelvis y una de las rodillas. Se conforma el vector con la rodilla más cercana a la cámara, para proporcionar la mejor confianza de identificación de articulación posible. En el caso de la prueba de flexión de bíceps, los vectores considerados son el vector “C” formado por la articulación del codo con la muñeca en la fase de extensión, mientras que el vector “C” es la representación en movimiento del mismo vector, además del vector “D” formado por la articulación del hombro con el codo.

Para que una repetición sea considerada correctamente ejecutada, existen ciertos límites y condiciones que deben cumplirse, como ya se explicaron de forma general en la sección descripción de pruebas de aptitud física. Se consideró la definición de un ángulo máximo y un ángulo mínimo, los cuales son alcanzados al ejecutar la prueba cuando el alumno se encuentra

en la fase de extensión y fase de flexión. En el caso de la prueba de abdominales, la fase de extensión ocurre cuando el alumno se encuentra completamente estirado en el piso con las rodillas flexionadas. Mientras que la fase de flexión se da cuando el alumno realiza el abdominal y tiene su mentón lo más cercano posible a sus rodillas. En el caso de la prueba de flexión de bíceps, la fase de extensión ocurre cuando el alumno tiene el brazo completamente estirado. Mientras que la fase de flexión se da cuando el alumno lleva la mancuerna lo más cercano que puede a su hombro.

Es importante mencionar que, durante la ejecución de ambas pruebas, el cuerpo del alumno empezará a generar distintos ángulos que son evaluados durante la fase de flexión y extensión, verificando que estos ángulos en algún momento cumplan el criterio de ser menor a un ángulo mínimo y mayor a un ángulo máximo, definidos respectivamente por cada fase, y que son evaluados secuencialmente en cada repetición validando que se alcancen ambos ángulos para considerar una repetición correcta. En el caso de la prueba de abdominales el ángulo mínimo generado por los vectores “B” y “A” es igual a 70° , mientras que el ángulo máximo generado por los vectores “B” y “A” es igual a 120° . Por otro lado, para la prueba de flexión de bíceps el ángulo mínimo generado por los vectores “D” y “C” es igual a 40° , mientras que el ángulo máximo generado por los vectores “D” y “C” es igual a 160° . Estos valores máximos y mínimos fueron determinados empíricamente, al realizar los ejercicios con la mejor técnica posible y analizando los ángulos alcanzados. Se puede observar una representación vectorial de estos movimientos en las Figuras 8 y 9.

Figura 8. Representación vectorial de la prueba de abdominales.

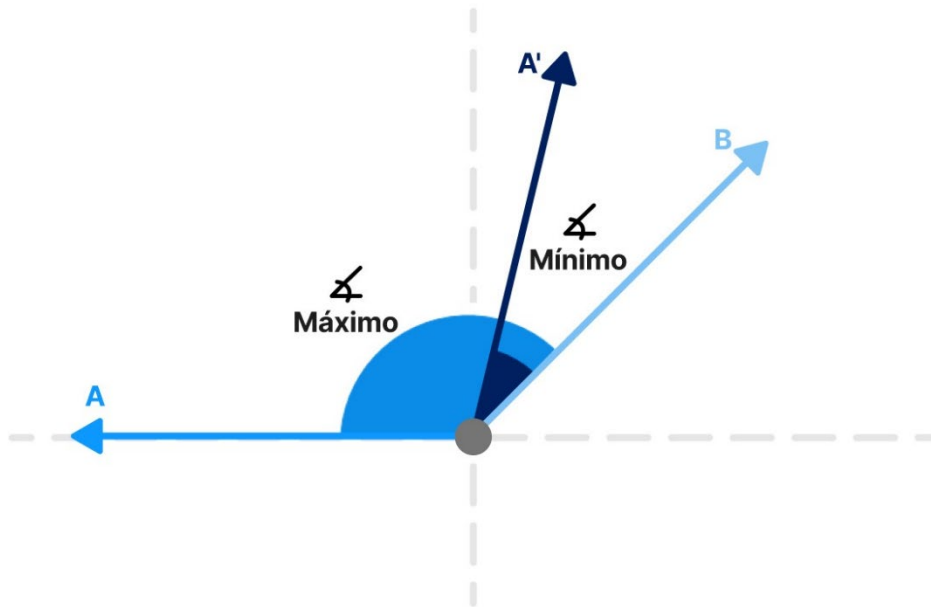
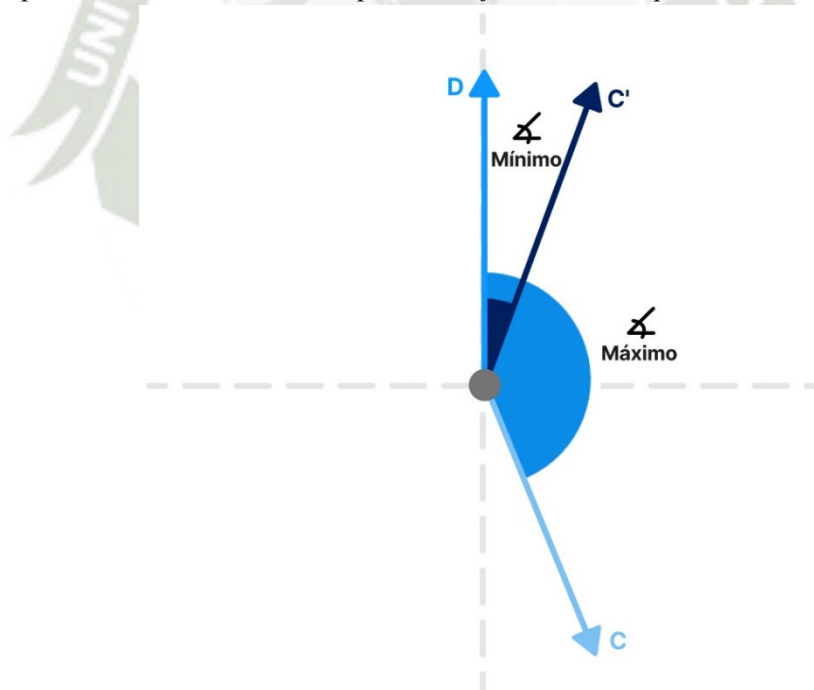


Figura 9. Representación vectorial de la prueba de flexión de bíceps.



En el siguiente segmento de código de la Figura 10, se puede observar la implementación de la lógica descrita.

Figura 10. Lógica de control de repeticiones.

```
float angle = Angle(shoulder, elbow, wrist);
// Checks if the student did a proper repetition and counts it
if (angle > MaxAngle && !_isDecreasing)
{
    _isDecreasing = true;
}
else if (angle < MinAngle && _isDecreasing)
{
    _isDecreasing = false;
    _repCount++;
    Debug.Log($"Repetition count: {_repCount}");
}
```

Se utiliza la variable “_isDecreasing” para determinar si el ángulo sigue disminuyendo, lo cual indica que el alumno está realizando la flexión. Si el alumno sobrepasa el ángulo máximo quiere decir que está en su punto de extensión máximo o suficientemente cercano a dicho punto. Esto significa que realizó la fase de extensión de la prueba correctamente, es decir no hizo una repetición incompleta en el momento de extensión. Debido a que se cumplió esta fase de la prueba, se procede con el análisis de la fase de flexión. Si el alumno alcanza el ángulo mínimo, se realizó suficiente flexión en la prueba y por ende se cuenta una repetición bien ejecutada.

5.1.4. Visualización de Resultados

Finalmente, en las siguientes Figuras 11, 12, 13 y 14 se puede observar la ejecución de las pruebas, donde al detener la ejecución del mismo, se llama internamente a la función “onDestroy()” y se muestran los datos significativos de cada prueba.

Figura 11. Ejemplo de evaluación de prueba de abdominales.

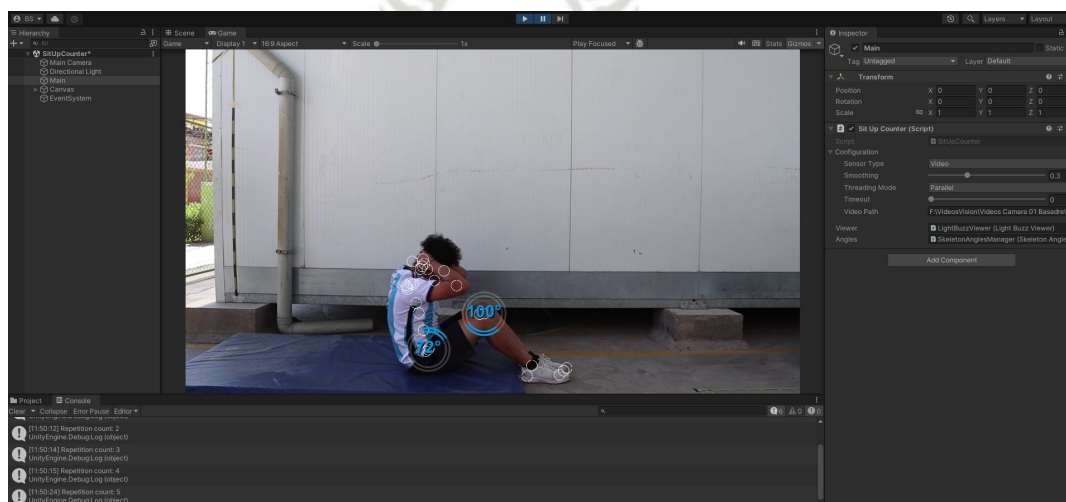


Figura 12. Ejemplo de evaluación de prueba de flexión de bíceps.

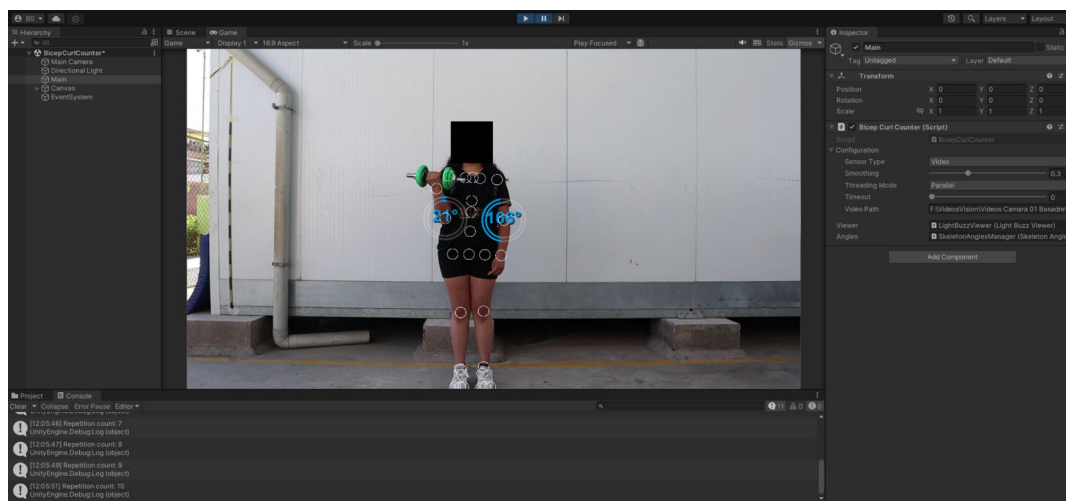


Figura 13. Ejemplo de evaluación de prueba de salto horizontal sin impulso.

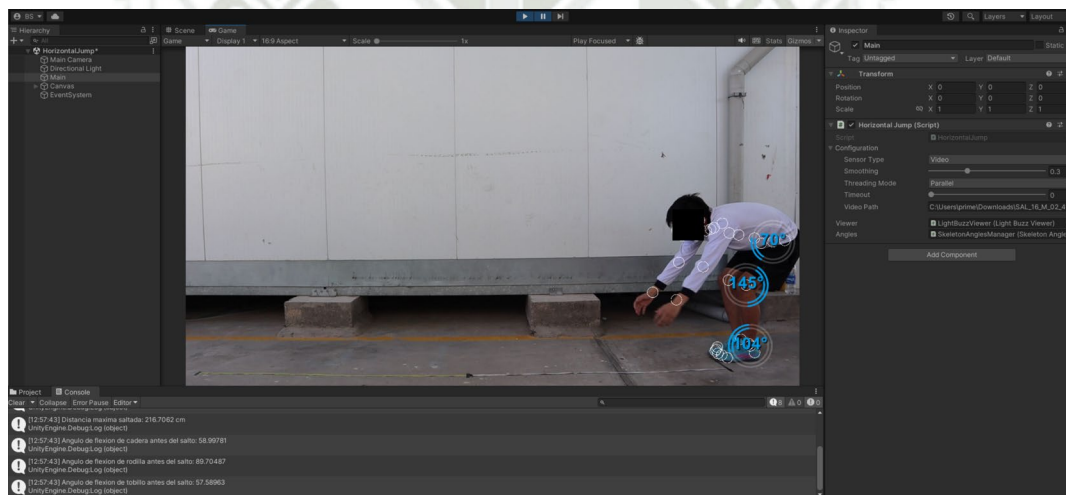
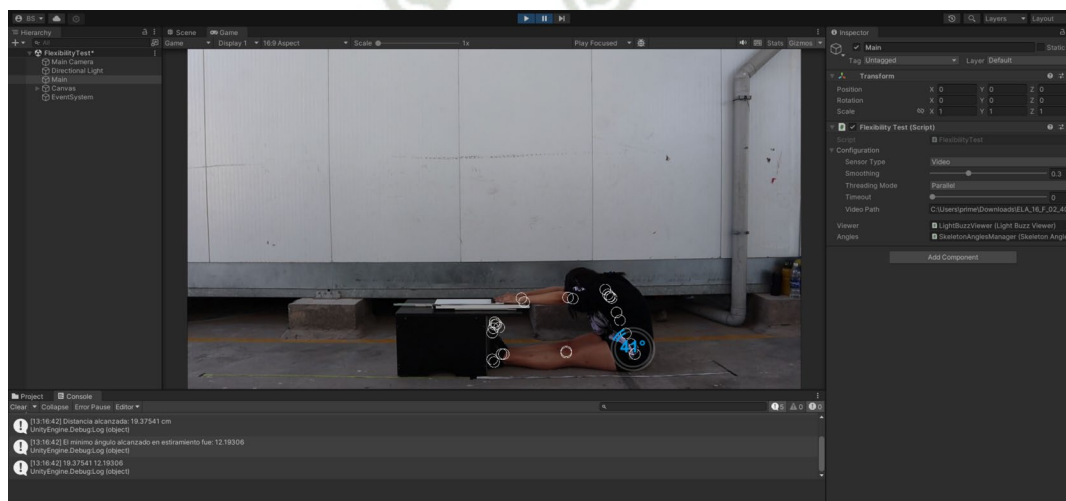


Figura 14. Ejemplo de evaluación de prueba de flexión de flexibilidad.

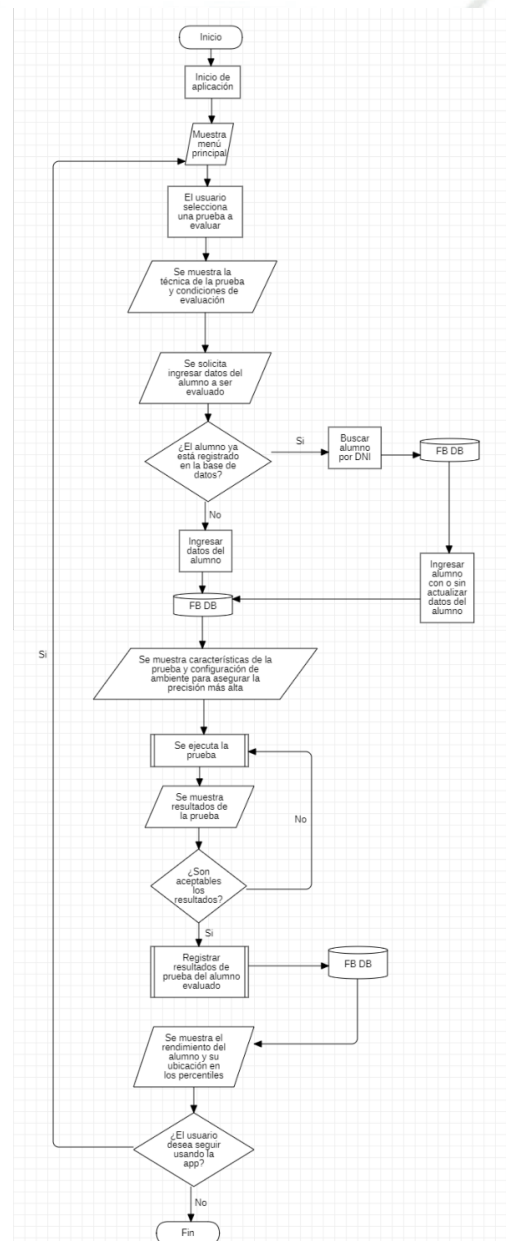


5.2. Implementación de la Versión Móvil

5.2.1. Diagramas

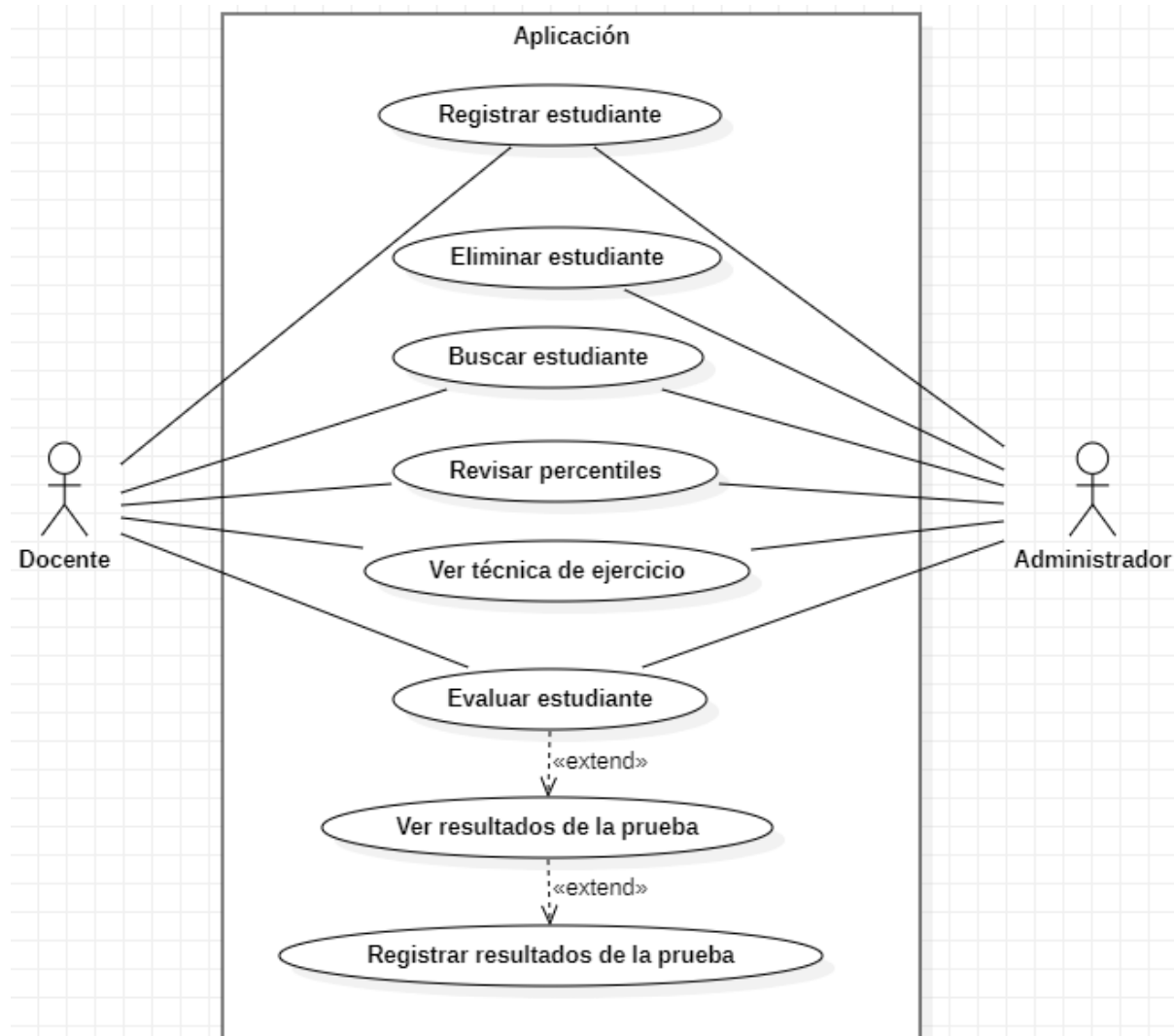
Para tener una imagen clara del funcionamiento ideal de la aplicación se necesita entender su ciclo de vida de inicio a fin. Por ello se delimita el siguiente diagrama de flujo como la guía base para el desarrollo de la aplicación. En dicho diagrama se muestra el flujo ideal que seguiría con la interacción de un usuario, Figura 15.

Figura 15. Diagrama de flujo de la aplicación móvil.



Sin embargo, existen diferentes usos posibles, dependiendo del usuario, en este caso si es un docente o un administrador. Dichos usos se muestran en la siguiente Figura 16.

Figura 16. Diagrama de casos de uso de la aplicación móvil.



- Registrar estudiante, el docente puede acceder a una pantalla que le permite ingresar los datos antropométricos del alumno.
- Buscar estudiante, el docente puede acceder a los datos antropométricos del alumno al ingresar su DNI en un buscador.
- Eliminar estudiante, solamente el administrador puede eliminar los datos del alumno debido a un mejor seguimiento de esta versión de la aplicación.

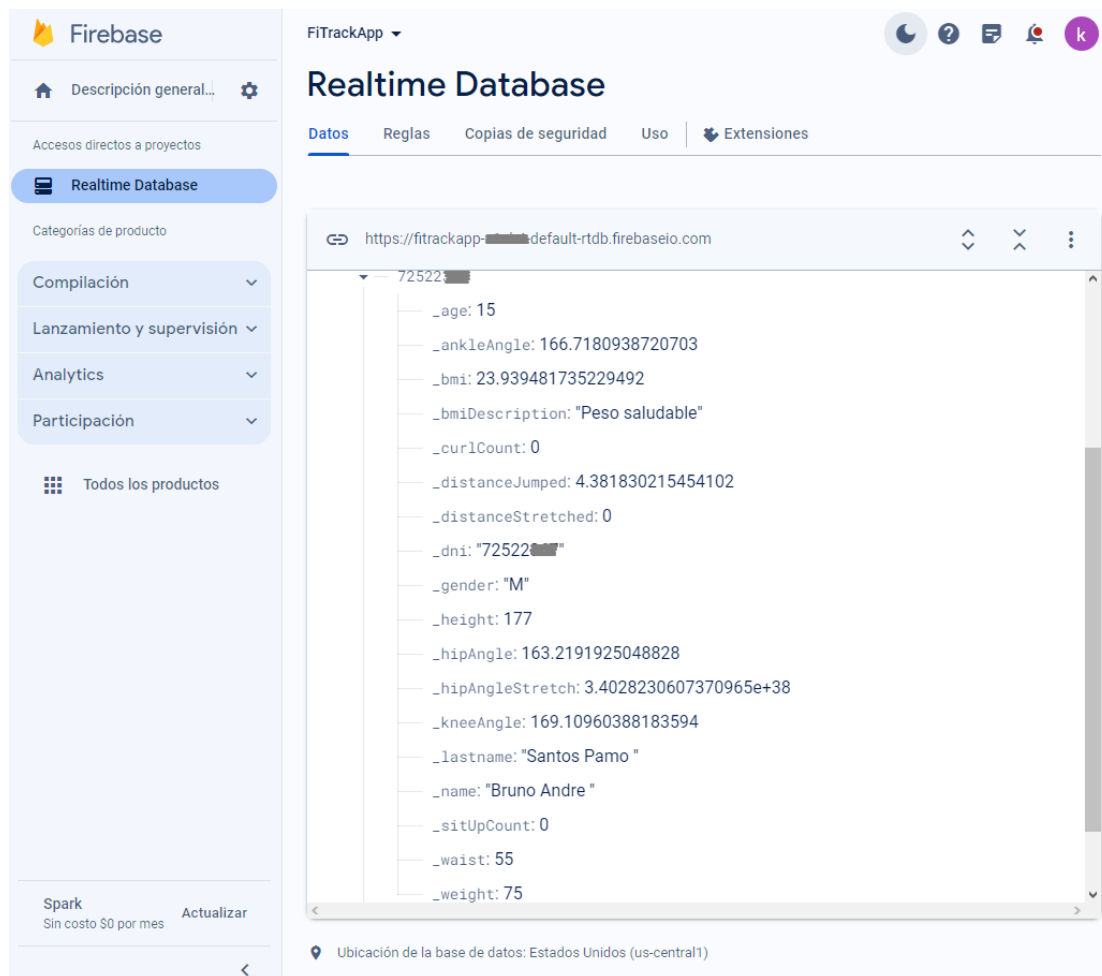
- Revisar percentiles, una vez finalizada la prueba, el docente puede observar en una pantalla los percentiles de la prueba realizada y como los resultados del alumno se ubican en dichos percentiles.
- Ver técnica del ejercicio, el docente puede visualizar una guía de realización del ejercicio antes de realizar la evaluación. Dicha guía se presenta en una pantalla con una descripción de los ejercicios y su ejecución adecuada.
- Evaluar estudiante, el docente puede grabar al estudiante realizando la prueba, parar la prueba y pasar a la interfaz de visualización de resultados.
- Ver resultados de la prueba, el docente puede observar en la interfaz de visualización de resultados el desempeño que el alumno tuvo en la prueba realizada.
- Registrar resultados de la prueba, el docente puede registrar los resultados de la prueba en la base de datos.

Con el fin de agilizar el proceso de implementación y tener un acceso directo y continuo a los datos se determinó que la base de datos de tiempo real de Firebase sería la solución adecuada para el aplicativo móvil. Dichos servicios de base de datos utilizan un modelo de datos no relacional, debido a que es una base de datos NoSQL. No obstante, sigue siendo necesario limitar el contexto de los datos. Para ello se utilizó la clase “Student”, la cual almacena los datos de importancia del estudiante y las pruebas realizadas. (*Firestore | Google’s Mobile and Web App Development Platform*, s. f.)

La arquitectura de datos o árbol de datos utilizado por Firebase se muestra en la Figura 17. Principalmente, esta clase almacenará los datos antropométricos del alumno, es decir, su edad, sexo, talla, peso, circunferencia de cintura, Índice de Masa Corporal (IMC) y descripción de (IMC). También almacena los datos de las pruebas realizadas, la distancia saltada por el salto horizontal y los ángulos mínimos de cadera, rodilla y tobillo antes del salto, también la distancia máxima estirada y el ángulo de cadera en el momento de estiramiento máximo, la cantidad de

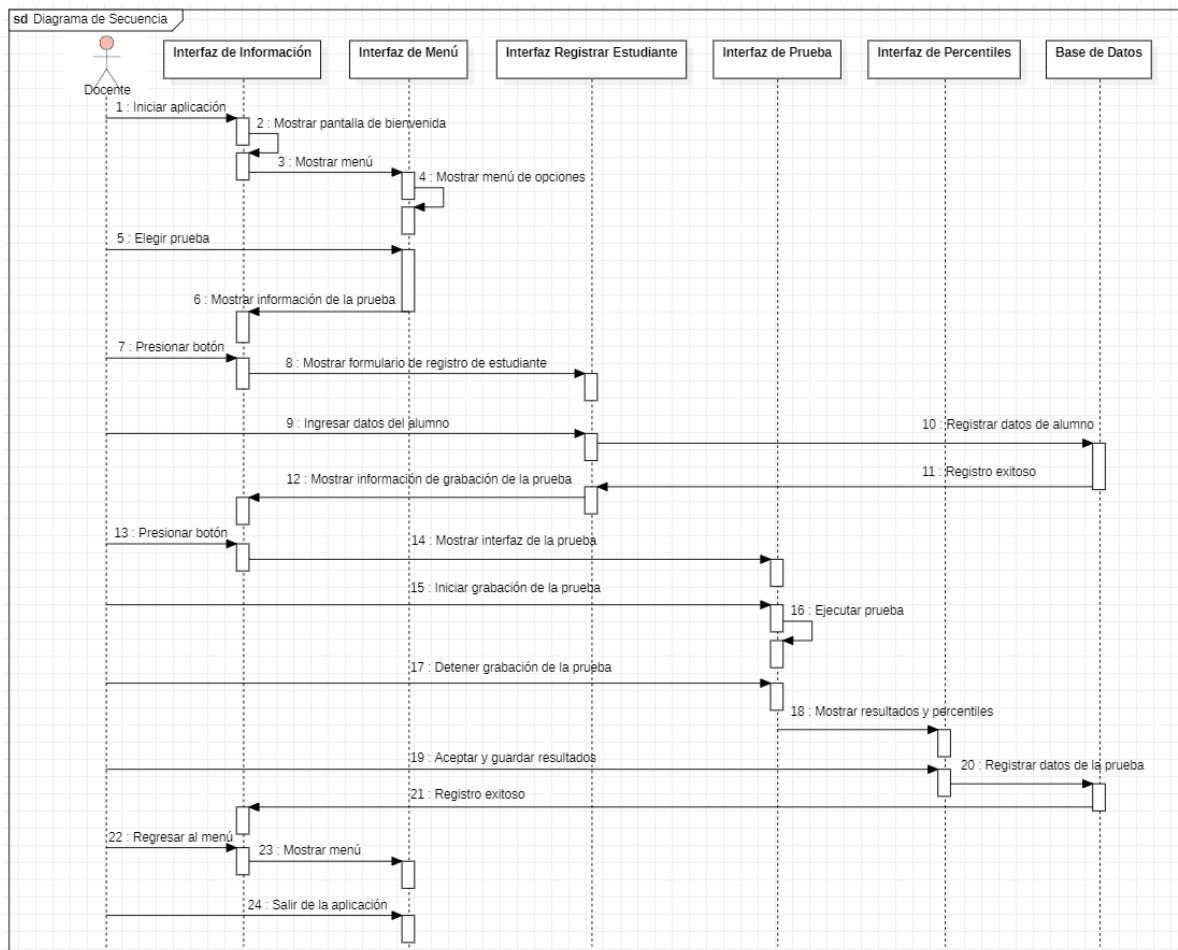
repeticiones de abdominales realizados y la cantidad de flexiones de bíceps realizados. Estos son los datos de interés para el análisis de capacidades motoras.

Figura 17. *Árbol de datos en Firebase.*



Continuando, se necesita visualizar el ciclo de vida de las clases necesarias, con el fin de asignar recursos y visualización de cada objeto de clase al usuario. Para esto se diseñó el siguiente diagrama de secuencia, el cual se puede observar en la Figura 18.

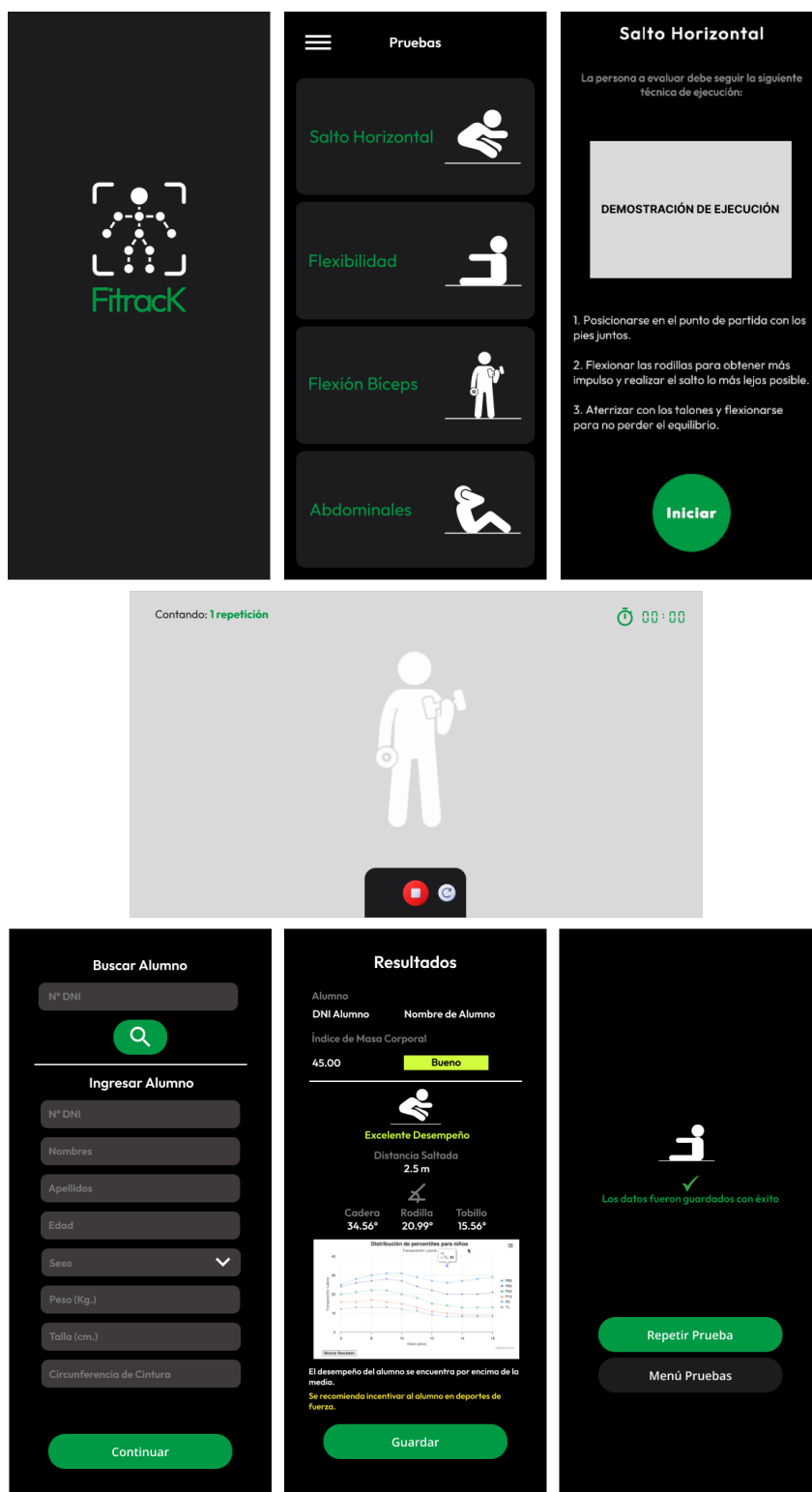
Figura 18. Diagrama de secuencias de la aplicación móvil.



5.2.2. Diseño de Interfaces

Se consideró a Figma como la mejor opción para el diseño de interfaces de forma ágil, debido a la potencia del mismo para la creación de componentes y gestión interactiva del proyecto. Permitiendo un acercamiento al prototipo final y el diseño del ciclo de vida deseado para la versión móvil en Unity. Sin embargo, es necesario mencionar que estas interfaces fueron rediseñadas y adaptadas ligeramente mientras se implementaba la versión final del aplicativo, a medida que se encontraban mejoras en la usabilidad de las mismas. Así también, se utilizó la herramienta de diseño gráfico Corel Draw y Camtasia Studio como editor de video, para poder proporcionar material gráfico adecuado y personalizado al aplicativo. La Figura 19 muestra las interfaces diseñadas en esta etapa.

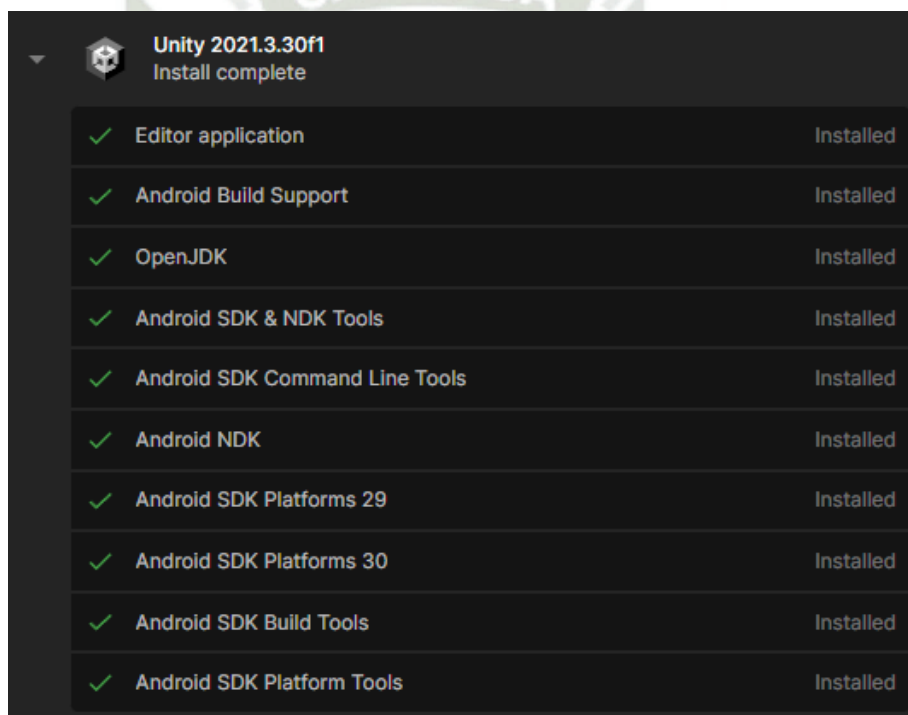
Figura 19. Interfaces diseñadas en Figma.



5.2.3. Desarrollo en Unity

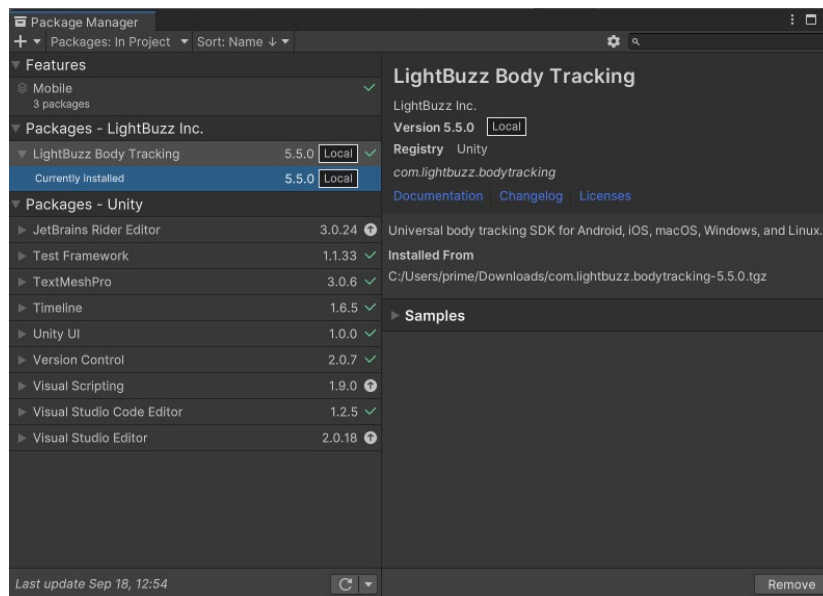
La versión móvil fue desarrollada en Unity con la versión del editor “2021.3.30f1”, debido a que, para la fecha de realización del proyecto, esta versión demostró ser la más estable en la exportación al sistema operativo Android. Además de ser compatible con las librerías utilizadas de seguimiento del cuerpo. Como editor de código se utilizó Visual Studio 2022. Así también, resultó necesaria la instalación de ciertos componentes para la correcta compilación y construcción del aplicativo como se puede apreciar en la Figura 20.

Figura 20. Instalación del editor y componentes de Unity para Android.



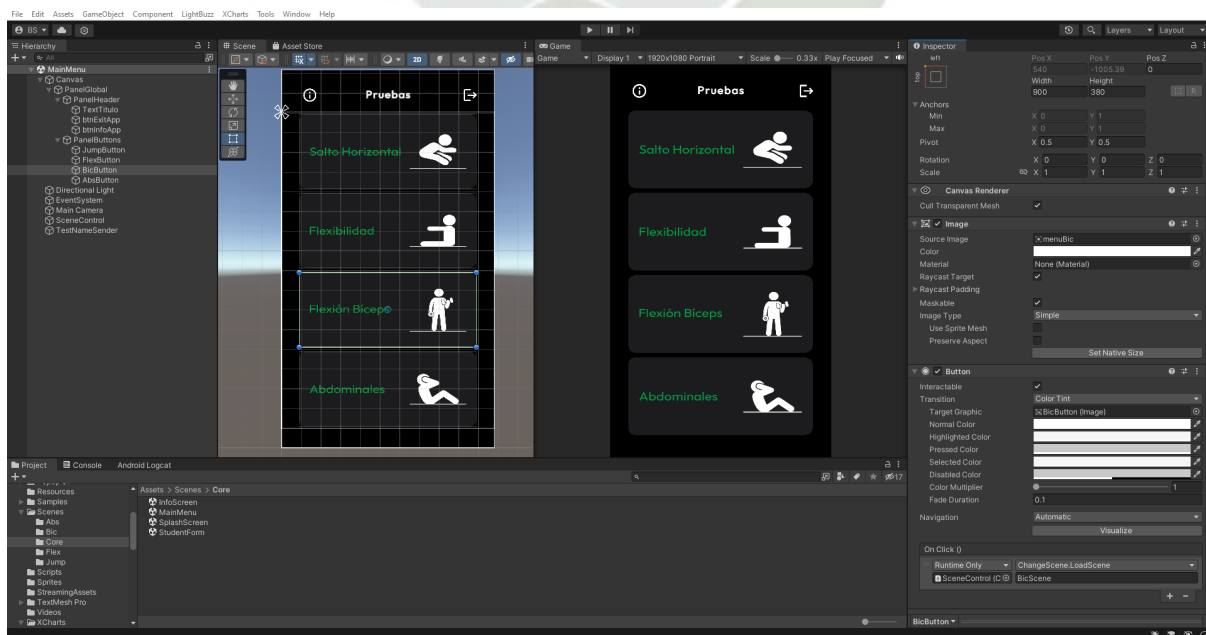
Adicionalmente, se realizó la importación de la librería LightBuzz en su versión “5.5.0”, para permitir el reconocimiento de articulaciones y la evaluación de pruebas con los algoritmos desarrollados en los capítulos anteriores. Como se puede apreciar en la Figura 21.

Figura 21. Importación de LightBuzz al proyecto en Unity.



Continuando con la preparación del entorno de desarrollo en Unity, se realizó la clasificación de componentes que comprenden las diferentes escenas. De esta forma aseguramos el orden y la mantenibilidad del código en los componentes de cada interfaz. La Figura 22 muestra una vista general del entorno listo para el desarrollo del aplicativo.

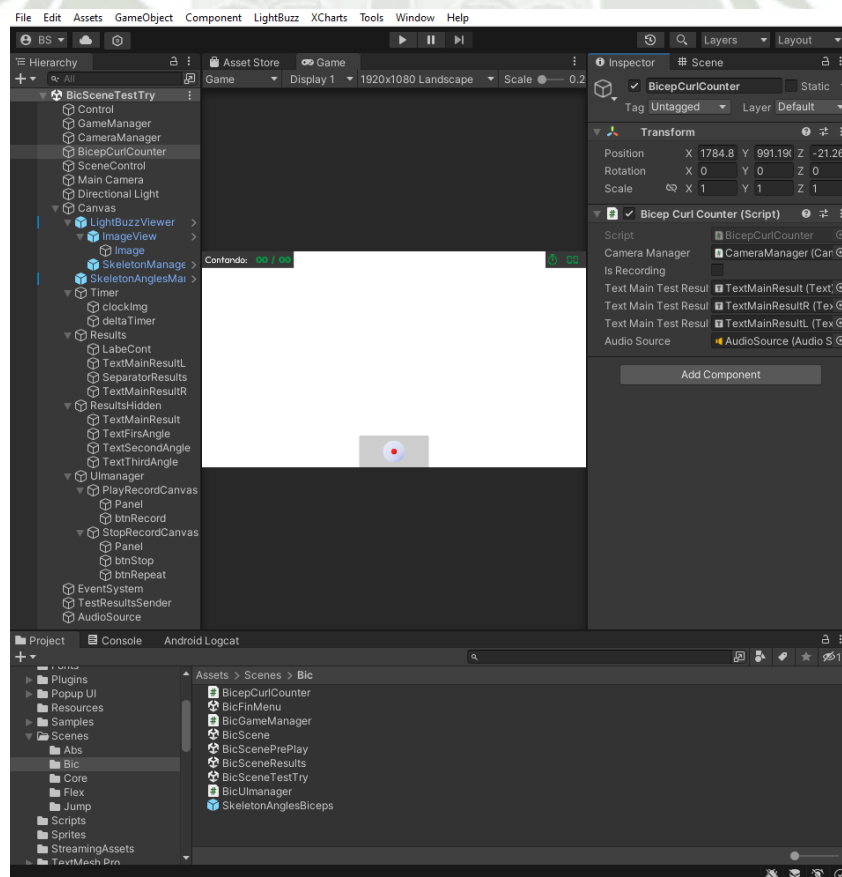
Figura 22. Implementación de interfaces en Unity.



La clasificación de escenas y componentes necesarios para la generación de las distintas interfaces se realizó mediante cuatro carpetas que llevan el nombre de la prueba a la que corresponden y una carpeta extra denominada “Core”. La que contiene cuatro escenas consideradas como únicas en el ciclo de vida de la aplicación. Esto se puede apreciar en la pestaña “Project” de la Figura 22 vista anteriormente.

Internamente cada escena en Unity representa una instancia de interfaz. Esta escena se describe lógicamente como un contenedor de una lista de objetos a los que se les pudo asociar “scripts” que definen el comportamiento que tendrán mientras el ciclo de vida de la escena se desarrolla. Por ejemplo, la Figura 23 muestra la pestaña “Project” con el árbol de componentes contenidos en la carpeta de la prueba de bíceps. Así también, la pestaña “Hierarchy” contiene todos los objetos necesarios para que la escena “BicSceneTestTry” pueda funcionar correctamente, es decir, pueda permitir la grabación de la prueba.

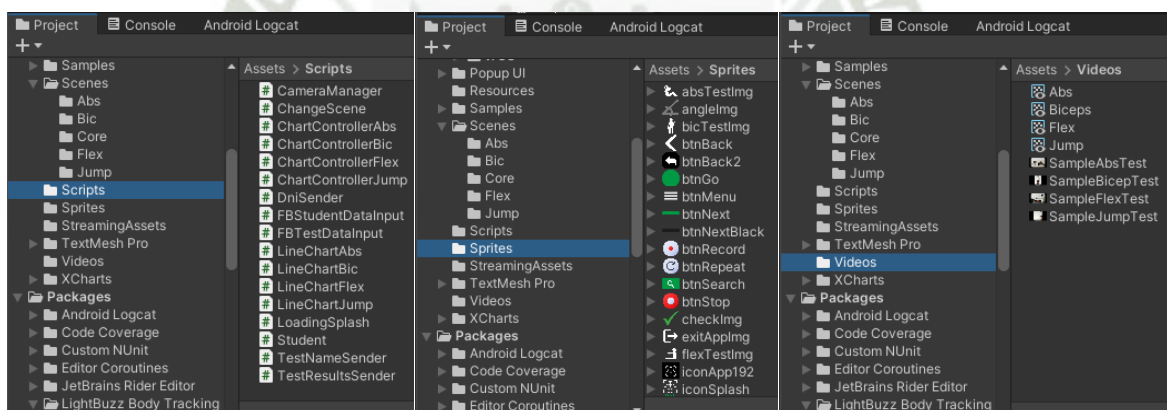
Figura 23. Escena de grabación de prueba de bíceps en Unity.



Los objetos contenidos por cada escena varían considerablemente según lo que la escena necesita controlar. Sin embargo, los componentes contenidos por las carpetas de cada prueba son similares en cuestión de diseño, variando principalmente la lógica para la funcionalidad requerida.

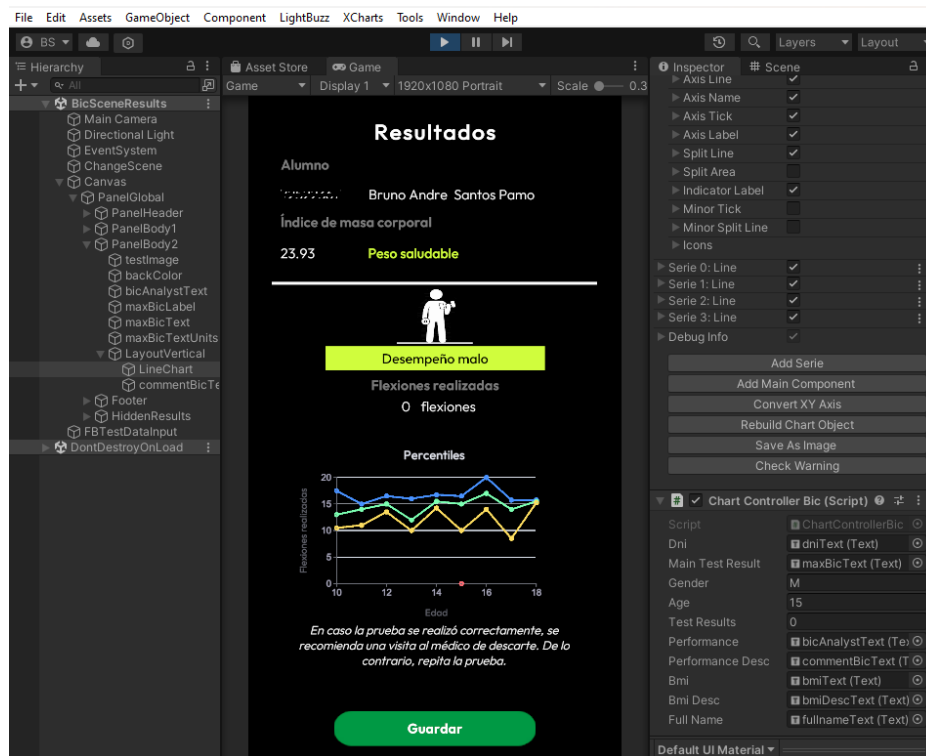
Es necesario mencionar que, también resultó necesario la gestión de otras carpetas para agrupar componentes y recursos necesarios para el aplicativo. En los que podemos destacar principalmente a la carpeta “scripts”, el cual contiene archivos de código C# generalizados al aplicativo, los recursos gráficos para el diseño de la interfaz en la carpeta “Sprites” y la carpeta “Videos” para las demostraciones de técnica adecuada para cada prueba. La Figura 24 muestra la agrupación de las carpetas mencionadas.

Figura 24. Estructura de carpetas “Scripts, Sprites, Videos”.



Para la generación de gráficos interactivos se realizó la importación manual de la librería Xcharts. Dicha librería permite la generación de gráficos 2D en Unity. Luego, para el uso de sus funciones, se definió la directiva “using XCharts.Runtime;” en cada script de generación de resultados por prueba. La Figura 25 muestra el uso de “LineChart” en el proyecto. (XCharts, s. f.)

Figura 25. Uso de librería XCharts en la interfaz de resultados de biceps.



La clase “PlayerPrefs” de Unity nos permitió guardar y cargar variables en la memoria del dispositivo con datos importantes por cada escena, para poder recuperar la información en el intercambio de estas mismas cuando la aplicación lo necesite, puesto que, debido a la naturaleza de Unity, una escena se construye y se destruye con todos los componentes registrados cuando se ejecuta la función “OnDestroy()”. Es por ello, que los datos como el nombre de la prueba ejecutada, el identificador y nombre del alumno, el resultado principal de la prueba y los ángulos de articulaciones de la prueba, fueron gestionados a través de funciones “PlayerPrefs” definidas para cada una de estas variables, como podemos apreciar en las Figuras 26 y 27.

Figura 26. Ejemplo de recuperación de datos almacenados con “PlayerPrefs”.

```
Mensaje de Unity | 0 referencias
private void Start()
{
    // Gets data from PlayerPrefs
    _dni.text = PlayerPrefs.GetString("dni");
    _testname.text = PlayerPrefs.GetString("TestName");
    _mainTestResult.text = PlayerPrefs.GetString("mainTestResult");
    _firstAngleMeasured.text = PlayerPrefs.GetString("firstAngleMeasured");
    _secondAngleMeasured.text = PlayerPrefs.GetString("secondAngleMeasured");
    _thirdAngleMeasured.text = PlayerPrefs.GetString("thirdAngleMeasured");
}
```

Figura 27. Ejemplo de guardado de datos con “PlayerPrefs”.

```
public string MainTestResultPrefs = "mainTestResult";
public string FirstAngleMeasuredPrefs = "firstAngleMeasured";
public string SecondAngleMeasuredPrefs = "secondAngleMeasured";
public string ThirdAngleMeasuredPrefs = "thirdAngleMeasured";

public Text TextMainTestResult;
public Text TextFirstAngleMeasured;
public Text TextSecondAngleMeasured;
public Text TextThirdAngleMeasured;

0 referencias
public void SendTestResults()
{
    Debug.Log("Saving Test Results");
    //Assigning values to PlayerPrefs
    PlayerPrefs.SetString(MainTestResultPrefs, TextMainTestResult.text);
    PlayerPrefs.SetString(FirstAngleMeasuredPrefs, TextFirstAngleMeasured.text);
    PlayerPrefs.SetString(SecondAngleMeasuredPrefs, TextSecondAngleMeasured.text);
    PlayerPrefs.SetString(ThirdAngleMeasuredPrefs, TextThirdAngleMeasured.text);
}
```

Para el almacenamiento de los datos de las pruebas realizadas con la versión móvil se utilizó “FireBase Realtime Database” debido a que es una base de datos en línea de rápida y sencilla implementación. No obstante, debido a que “Firebase” es una base de datos NoSQL, todos los datos se almacenan como texto en formato JSON. Para simplificar dicho registro y almacenamiento se diseñó la siguiente clase en C# la cual es directamente convertida a JSON por medio de la librería “JsonUtility”. El constructor de dicha clase se muestra a continuación en la Figura 28. (Firebase | Google’s Mobile and Web App Development Platform, s. f.)

Figura 28. Constructor de clase “Student”.

```
// Constructor
1 referencia
public Student(string dni, string name, string lastname, char gender, int age, float weight, float height, float waist)
{
    _dni = dni;
    _name = name;
    _lastname = lastname;
    _gender = gender;
    _age = age;
    _weight = weight;
    _height = height;
    _waist = waist;
    (_bmi, _bmiDescription) = BMICalculator();
}
}
```

5.3 Testing

Como en todo tipo de software, es necesario comprobar que el prototipo presentado en esta investigación cumpla ciertos requisitos mínimos de funcionamiento y validación. Por ende, esta sección describe el tipo de pruebas realizadas, los objetivos de cada prueba, los resultados esperados y resultados obtenidos.

La naturaleza del prototipo presentado implica dificultad al momento de desarrollar pruebas automatizadas, por ello se delimita únicamente a pruebas implementadas manualmente.

Los tipos de pruebas implementadas vienen a ser las pruebas unitarias, integrales y funcionales.

Se optó por estos tipos de pruebas puesto que, son de carácter práctico y permiten verificar el funcionamiento óptimo del prototipo tanto en “scripts” únicos como en general.

Adicionalmente, como se realizó una validación con el usuario final, la cual se calificó y evaluó, no se considera necesario realizar pruebas de tipo “end-to-end”, ya que serían redundantes.

Todos los tipos de pruebas que veremos a continuación, así como la validación del prototipo se llevaron a cabo en un celular de modelo “Xiaomi 11 Lite 5G NE”, cuyas especificaciones técnicas se pueden apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13.

Especificaciones técnicas del celular utilizado para las pruebas.

Marca	Modelo	Procesador	RAM	Android	Almacenamiento
Xiaomi.	11 Lite 5G NE.	Octa-Core 2.4 GHz.	8 GB.	13 + MIUI 14.0.6.	256 GB.

5.3.1 Pruebas Unitarias

Este tipo de pruebas buscan verificar el funcionamiento adecuado de secciones de código, funciones, clases y módulos individualmente. Son pruebas en el código directo y nos permiten saber si el código está trabajando de manera adecuada. Las pruebas realizadas de este tipo se observan en la Tabla 14.

Las pruebas fueron implementadas manualmente a través de código C# en los scripts de las diferentes clases que involucran cada prueba. Además, las dos primeras pruebas fueron evaluadas por medio del inspector de Unity, estableciendo correctamente las propiedades de los “InputFields” para almacenar el tipo y la cantidad de caracteres permitidos según la naturaleza del dato a almacenar, como se puede apreciar en la Figura 29. Finalmente, para las pruebas PU-3 a PU-5 se utilizó la función “Debug.Log()” de Unity para revisar que los datos apropiados estén siendo accedidos y manipulados, visto en la Figura 30.

Tabla 14.

Casos de prueba definidos para las pruebas unitarias.

ID	Nombre	Resultado esperado	Estado
PU-1	TestDniLength	La aplicación verifica que el DNI sea de longitud 8 caracteres únicamente.	Exitoso
PU-2	TestAgeRestriction	La aplicación verifica que el usuario ingrese una edad del alumno entre 9 y 18 años.	Exitoso
PU-3	TestResults	La aplicación manda correctamente el resultado de cada evaluación.	Exitoso
PU-4	TestGraphMaker	La aplicación crea el grafico con los percentiles adecuados.	Exitoso
PU-5	TestProperDescriptions	La aplicación asigna la descripción de IMC y de resultados de test adecuadamente.	Exitoso

Figura 29. Validación de campos desde el inspector de Unity.

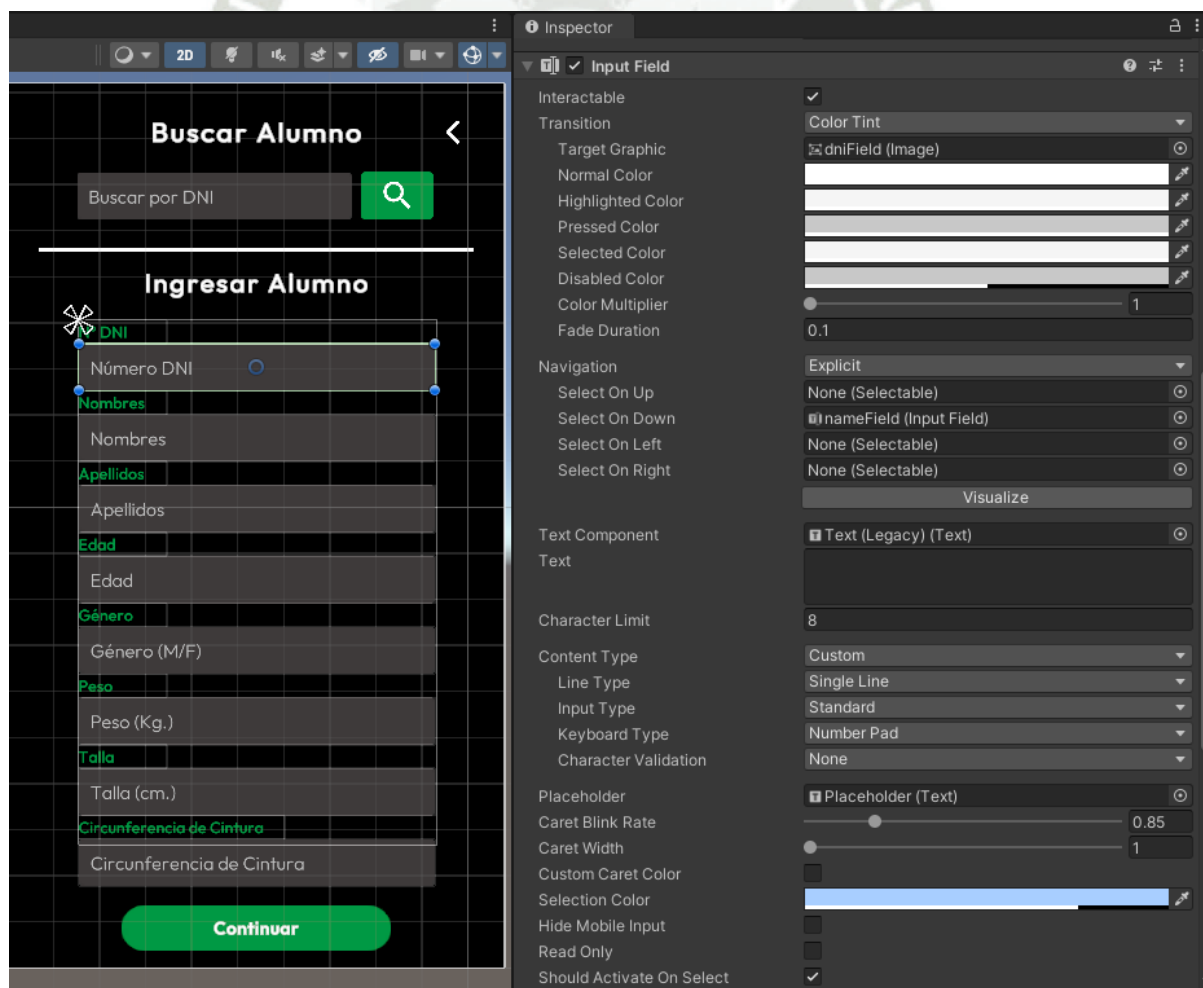
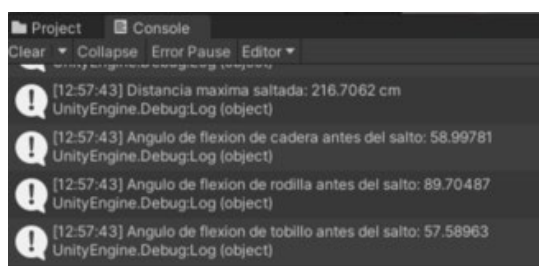


Figura 30. Ejemplo de resultados de ejecución de pruebas unitarias en la consola.



5.3.2 Pruebas Integrales

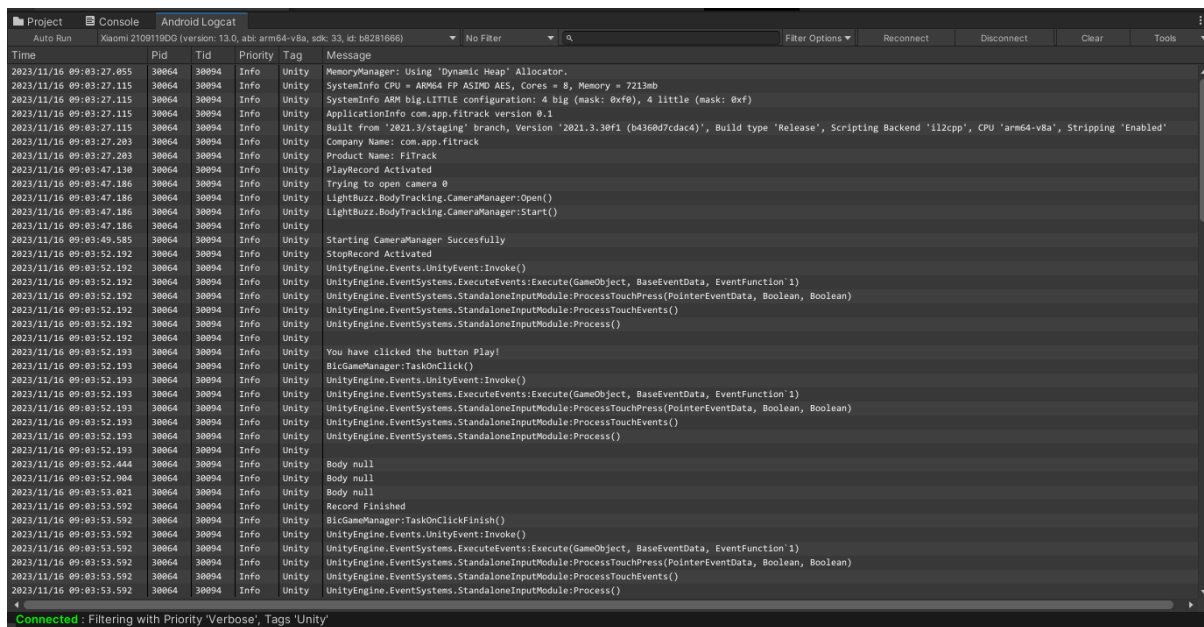
En las pruebas integrales se busca verificar que los módulos trabajen y se comuniquen entre si correctamente. Este tipo de test incluye verificar el flujo de datos enviados entre módulos y la base de datos. Las pruebas realizadas de esta naturaleza se observan en la Tabla 15. Para este tipo de pruebas se consideró necesario el uso de la herramienta “Android Logcat” proporcionada por Unity, que nos permitió un seguimiento profundo de los eventos y flujo de datos en el aplicativo, el cual se puede visualizar en la Figura 31. El celular utilizado para las pruebas se configuró en modo desarrollador y con la opción de “USB-Debugging” activada, además de estar conectado a la computadora mediante un puerto USB 3.0, mientras se ejecutaba la función de “Build And Run APK” desde Unity.

Tabla 15.

Casos de prueba definidos para las pruebas integrales.

ID	Nombre	Resultado esperado	Estado
PI-1	FBStudentDataInputTest	El sistema ingresa correctamente los datos de un alumno a la base de datos.	Exitoso
PI-2	FBStudentDataRetrievalTest	El sistema recupera correctamente los datos de los estudiantes desde la base de datos.	Exitoso
PI-3	FBTestDataInputTest	El sistema ingresa correctamente los resultados de una evaluación.	Exitoso
PI-4	TestResultsOnGraphTest	El sistema pasa correctamente los resultados de los test a la escena de grafico de percentiles.	Exitoso
PI-5	StudentDniSendTest	El sistema envía correctamente el DNI del alumno a ser evaluado entre escenas.	Exitoso

Figura 31. Resultados de pruebas integrales desde “Android Logcat” de Unity.



Time	Pid	Tid	Priority	Tag	Message
2023/11/16 09:03:27.055	30864	30894	Info	Unity	MemoryManager: Using 'Dynamic Heap' Allocator.
2023/11/16 09:03:27.115	30864	30894	Info	Unity	SystemInfo CPU = ARM94 FP ASIMD AES, Cores = 8, Memory = 7213mb
2023/11/16 09:03:27.115	30864	30894	Info	Unity	SystemInfo ARM big.LITTLE configuration: 4 big (mask: 0xf0), 4 little (mask: 0xf)
2023/11/16 09:03:27.115	30864	30894	Info	Unity	ApplicationInfo com.app.fittrack version 0.1
2023/11/16 09:03:27.115	30864	30894	Info	Unity	Built from '2021.3/staging' branch, Version '2021.3.30f1 (b43687cdac4)', Build type 'Release', Scripting Backend 'il2cpp', CPU 'arm64-v8a', Stripping 'Enabled'
2023/11/16 09:03:27.203	30864	30894	Info	Unity	Company Name: com.app.fittrack
2023/11/16 09:03:27.203	30864	30894	Info	Unity	Product Name: FitTrack
2023/11/16 09:03:47.130	30864	30894	Info	Unity	PlayRecord Activated
2023/11/16 09:03:47.186	30864	30894	Info	Unity	Trying to open camera 0
2023/11/16 09:03:47.186	30864	30894	Info	Unity	LightBuzz.BodyTracking.CameraManager:Open()
2023/11/16 09:03:47.186	30864	30894	Info	Unity	LightBuzz.BodyTracking.CameraManager:Start()
2023/11/16 09:03:47.186	30864	30894	Info	Unity	
2023/11/16 09:03:49.585	30864	30894	Info	Unity	Starting CameraManager Successfully
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	StopRecord Activated
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.Events.UnityEvent:Invoke()
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.ExecuteEvents:Execute(GameObject, BaseEventData, EventFunction`1)
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchPress(PointerEventData, Boolean, Boolean)
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:52.192	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	You have clicked the button Play!
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	BiGameManager:TaskOnClick()
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.Events.UnityEvent:Invoke()
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.ExecuteEvents:Execute(GameObject, BaseEventData, EventFunction`1)
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchPress(PointerEventData, Boolean, Boolean)
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:52.193	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:52.444	30864	30894	Info	Unity	Body null
2023/11/16 09:03:52.904	30864	30894	Info	Unity	Body null
2023/11/16 09:03:53.021	30864	30894	Info	Unity	Body null
2023/11/16 09:03:53.592	30864	30894	Info	Unity	Record Finished
2023/11/16 09:03:53.592	30864	30894	Info	Unity	BiGameManager:TaskOnClickFinish()
2023/11/16 09:03:53.592	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.Events.UnityEvent:Invoke()
2023/11/16 09:03:53.592	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.ExecuteEvents:Execute(GameObject, BaseEventData, EventFunction`1)
2023/11/16 09:03:53.592	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchPress(PointerEventData, Boolean, Boolean)
2023/11/16 09:03:53.592	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()
2023/11/16 09:03:53.592	30864	30894	Info	Unity	UnityEngine.EventSystems.StandaloneInputModule:ProcessTouchEvents()

5.3.3 Pruebas Funcionales

Finalmente, las pruebas funcionales verifican que se satisfacen los requisitos básicos de la aplicación, sin necesariamente observar o analizar cómo o por qué se satisfacen. Este tipo de pruebas se llevaron a cabo por medio del uso del prototipo por los desarrolladores verificando que cada caso de uso definido anteriormente se cumple correctamente.

5.3.4 Pruebas de Experiencia de Usuario

En este punto, se consideró como uno de los mejores métodos la realización de entrevistas y encuestas, para conocer la percepción del usuario respecto a la aplicación móvil desarrollada. Después de presentado un manual de usuario a los profesores, el cual incluye las funcionalidades que debería satisfacer el aplicativo, estos procedieron a realizar las evaluaciones correspondientes de sus alumnos. Luego, se les solicitó dar su opinión sobre el uso del aplicativo. Según lo visto en el trabajo de Nielsen & Landauer (1993) mencionan que con cinco usuarios se pueden descubrir el 90% de los problemas al realizar pruebas de experiencia de usuario. Esta evaluación se realizó con siete usuarios donde después de analizadas sus respuestas se observa una tendencia positiva. El detalle de sus respuestas puede

ser revisada en el Anexo A. Además, el manual de usuario del aplicativo se muestra en el Anexo H. Asimismo, se realizaron test de usuario por cada uno de los profesores, donde nos dieron sus comentarios de forma abierta. Estos mismos fueron revisados y analizados por los testistas para extraer información de importancia, lo cual se visualiza en la Tabla 16, donde podemos identificar carencias en términos de seguridad y navegabilidad. Sin embargo, solo tres usuarios comentaron negativamente sobre estos aspectos. En cuestión de seguridad, se detectó la ausencia de un control de acceso a la aplicación por medio de un inicio de sesión. En cuestión de navegabilidad, se encontró la lentitud de navegación entre los campos de datos del alumno. Además de la preferencia por una navegación que permita continuar la evaluación de pruebas al mismo alumno. Por último, se percibió lentitud en la navegación de la interfaz de grabación de la prueba. El resto de usuarios, incluyendo los mencionados anteriormente, realizaron comentarios positivos sobre las interfaces desarrolladas en los aspectos de funcionalidad y usabilidad. Finalmente, no se tienen datos con relación al aspecto de fiabilidad, puesto que ningún usuario hizo algún comentario al respecto. Los test de usuarios pueden ser revisados en el Anexo I.

Tabla 16.*Análisis de test de usuarios.*

Aspectos	Comentario Positivo	Comentario Negativo
Funcionalidad	7 personas	0 personas
Usabilidad	7 personas	0 personas
Fiabilidad	No se tienen datos.	No se tienen datos.
Seguridad	0 personas	1 persona
Navegabilidad	4 personas	3 personas



CAPITULO VI

6. PREPARACIÓN DE LOS DATOS

En esta sección se definen los requisitos y procedimientos utilizados para la preparación y recolección de datos en los entornos de laboratorio y campo, para las cuatro pruebas de aptitud física definidas: Salto horizontal sin impulso, flexiones de bíceps con mancuernas, flexiones de abdominales y flexibilidad “Sit and Reach”.

6.1 Requisitos de Evaluación

El software desarrollado permite su nivel máximo de precisión considerando que tanto las pruebas de campo y de laboratorio se desarrollan en un ambiente controlado, donde al momento de realizar las pruebas se cuidan ciertos aspectos, como lo es el ruido visual, que para nuestro contexto se refiere a objetos y situaciones que puedan confundir al software en la detección de cuerpos y en la evaluación de las pruebas. Por lo que es necesario mantener un ambiente libre de ruido visual. Consideramos que existen dos formas en las que el “ruido visual” puede afectar negativamente el software propuesto. Primeramente, el ruido en el ambiente. Este tipo de ruido hace referencia a los objetos estáticos o en movimiento que se encuentran en la escena de grabación y que no son de necesidad para la ejecución de la prueba. Así también, hace referencia a la existencia de sombras adicionales a la sombra generada por el alumno cuando realiza la prueba, estas sombras pueden ser confundidas como cuerpos a evaluar lo cual puede generar errores de precisión, como también ocurre, si en la escena se capturan reflejos de espejos o ventanas que imitan la existencia de un cuerpo a evaluar. Por lo que es importante controlar la existencia de este ruido visual para obtener los mejores resultados posibles. En el caso de interferencia por otras personas en la escena de grabación, estos generan un intento de identificación de cuerpo por parte del software, lo cual, genera una pérdida de información momentánea del cuerpo del alumno y esto causa pérdida de precisión. Es decir, si otro alumno o alguna otra persona ajena a la evaluación, entra en la escena, mientras se está

realizando la evaluación, se genera un conflicto de selección de cuerpo a evaluar, lo cual inutiliza los datos obtenidos de la prueba y sería necesario repetir la evaluación de la misma.

Finalmente, es necesario que el alumno a ser evaluado no use accesorios o vestimenta que genere la obstrucción visual de articulaciones, por ejemplo, el uso de mascarillas, polos manga larga, buzos muy holgados, casacas, sombreros, pulseras, guantes, zapatillas con plataforma o con cintas de colores reflectivos. Idealmente el alumno debe llevar puesto un uniforme deportivo, el cual, debe ser compuesto por un polo con mangas cortas, sin estampados extravagantes, un short deportivo y zapatillas deportivas, de preferencia utilizar colores opacos, o grises. El uniforme no debe contener colores reflectivos, ni estar compuesto completamente por blanco o negro puro, con el fin de mejorar la precisión en la detección de articulaciones.

6.2 Instrumentos y Distribución

Para la evaluación tradicional se utilizaron los siguientes instrumentos. Dos cintas métricas de tres metros, un flexómetro de cinco metros, una colchoneta para la realización de la prueba de abdominales, una cinta aislante negra para asignar marcas de distancias, una caja de Wells “Sit and Reach”, una mancuerna regulable, la cual pesa como mínimo un kilogramo y máximo diez kilogramos. Finalmente, un cronómetro para el control de tiempo de ejecución de las pruebas de abdominales y repetición de bíceps. Todos los instrumentos utilizados se pueden observar en las Figuras 32, 33, 34 y 35.

Figura 32. Caja de Wells.



Nota. Vista superior y lateral de la caja de Wells “Sit and Reach”.

Figura 33. Set de mancuerna modular de 10 Kg.



Figura 34. Colchoneta para abdominales.



Fuente: Google.

Figura 35. Flexómetro, cinta métrica y cinta aislante utilizadas.

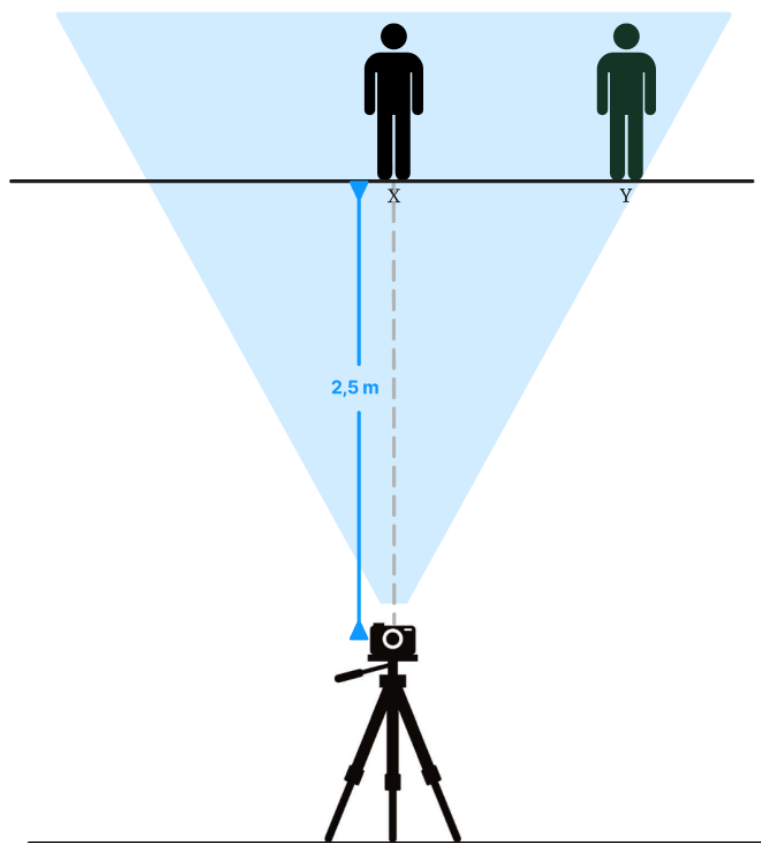


Fuente: Google.

Para la captura de videos se utilizaron dos cámaras del modelo Canon EOS M50 Mark II, ambas con sus respectivos trípodes y con una distribución específica. Se posicionó al alumno a una distancia de 2.5 metros enfrente de la cámara, se seleccionó esta distancia basada en investigaciones preliminares y considerado como apropiado a través de nuestra experimentación que es una distancia ideal para el reconocimiento de cuerpos y articulaciones. (Xing et al., 2022) (Ivorra et al., 2021)

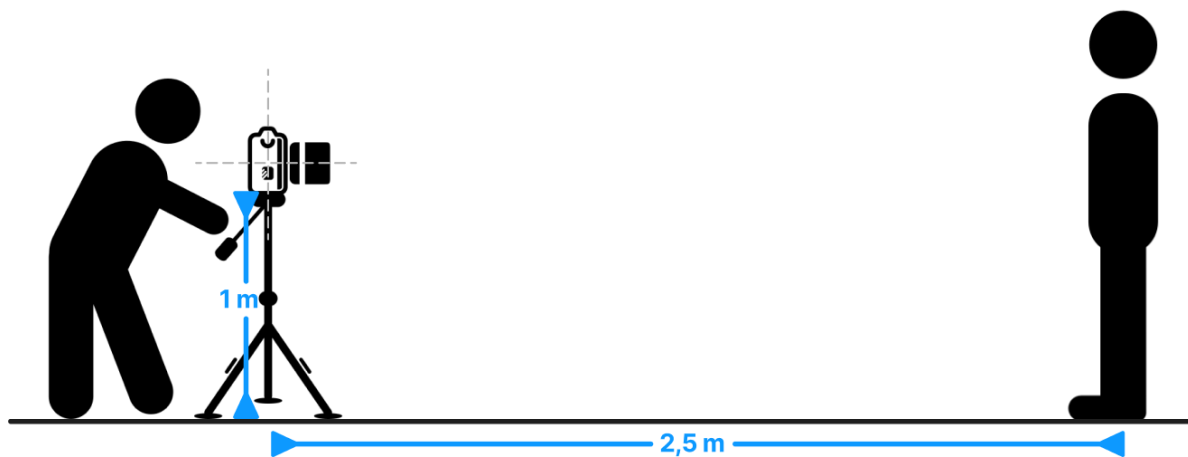
Para la grabación de las pruebas de bíceps, flexibilidad y abdominales, el alumno debe posicionarse frente a la cámara, en el centro del ángulo focal, en el caso de bíceps el alumno mira a la cámara, es decir en línea de visión paralela, mientras que en la prueba de abdominales y flexibilidad el alumno se posiciona en línea de visión perpendicular a la cámara, despreciando si mira a la derecha o a la izquierda. Para la prueba de salto horizontal el alumno se posiciona en el punto de inicio al extremo derecho o izquierdo del ángulo focal, como se aprecia en la Figura 36, con línea de visión perpendicular a la cámara, mientras que el límite del salto, el cual es tres metros de distancia, debe estar cerca al extremo contrario del punto de inicio de la prueba. Finalmente, la cámara debe estar posicionada un metro por encima del suelo y no debe existir angulación hacia arriba o hacia abajo como se aprecia en la Figura 37.

Figura 36. Distribución frontal de la prueba.



Nota. “X” representa la posición del alumno en la prueba de Abdominales, Bíceps y Estiramiento. “Y” representa la posición del alumno en la prueba de Salto.

Figura 37. Distribución lateral de la prueba.



6.3 Procedimiento de Recolección

Para iniciar con este procedimiento es estrictamente necesario enseñar previamente a los alumnos la técnica adecuada para la ejecución de cada una de las pruebas, así como el objetivo de las mismas para asegurar el máximo desempeño de los alumnos. El procedimiento para la captura de videos se delimita a continuación.

- Primero, se posiciona al alumno y la cámara según el esquema detallado anteriormente, dependiendo de la prueba a realizar.
- Se inicia la grabación de video y se menciona en voz alta el identificador del alumno y el nombre de la prueba a realizar, con el número de la captura correspondiente.
- Se le indica al alumno que inicie la prueba.
- El alumno realiza la prueba.
- Cuando el alumno finaliza la prueba, se toma la medición tradicional, es decir, el dato de control del resultado alcanzado.
- Se comunica el resultado de tal manera que pueda ser grabado y se detiene la captura del video.



CAPITULO VII

7. EVALUACIÓN

7.1 Recolección y Procesamiento en Campo

Continuando con el procesamiento de los videos, utilizamos la versión de escritorio del software propuesto. El flujo comienza con la selección de la escena de prueba respectiva. Luego se configura la plataforma para que pueda reconocer el sensor de tipo “video”, una vez realizado esto se importa el video a procesar, correspondiente al tipo de prueba seleccionada. Una vez realizado esto, todo queda listo para procesar el video, por lo que se ejecuta la escena, se visualiza la prueba realizada y finalmente se detiene la ejecución de la escena para obtener los datos de interés de la prueba. Los datos de interés son los resultados de medición de importancia para la investigación y que varían ligeramente de acuerdo a la prueba. Además, se consideraron ciertos datos antropométricos necesarios para la generación de percentiles. Estos datos se muestran en la Tabla 17. Finalmente, todos estos datos son exportados a hojas de datos en Microsoft Excel para su posterior análisis, se puede apreciar una muestra de los datos en el Anexo G.1.

Tabla 17.

Datos de interés por cada prueba implementada.

	Salto horizontal sin impulso	Flexibilidad	Flexión de bíceps	Flexión de abdominales
<i>Datos de Interés</i>	-Distancia de salto. -Ángulo de cadera. -Ángulo de rodilla. -Ángulo de tobillo.	-Distancia de estiramiento. -Ángulo de cadera.	-Repeticiones brazo dominante.	-Repeticiones de abdominales.
<i>Datos de Control Tradicional</i>	-Control de distancia saltada.	-Control de estiramiento total.	-Control de repeticiones total.	-Control de repeticiones total.
<i>Datos Antropométricos</i>			-Edad. -Sexo. -Talla.	

	-Promedio de distancia saltada. (Software).	-Promedio de estiramiento (Software).	-Peso.	
<i>Datos</i>	-Promedio de distancia saltada. (Control).	-Promedio de estiramiento (Control).	-Índice de masa corporal.	-Índice de masa corporal.
<i>Calculados</i>	-Índice de masa corporal.			

Nota. Los ángulos de salto son los ángulos mínimos alcanzados justo antes del salto. En caso del ángulo de flexibilidad, es el ángulo mínimo alcanzado al estirarse.

Una vez preparados los datos recolectados de manera tradicional, así como los obtenidos por el software, se procede a estimar el porcentaje de error. Se obtiene dicho porcentaje utilizando la siguiente fórmula.

$$\% \text{ error} = \left| \frac{E - T}{T} \right| \times 100 = ?$$

Por ende, se determina el porcentaje de coincidencia como $100\% - \text{Porcentaje de error}$. Estos porcentajes pueden observarse en la Tabla 15.

En la recolección de datos de campo se evaluaron 228 alumnos entre tres colegios en la ciudad de Arequipa. No obstante, esto no significa que todos los alumnos participaron en todas las pruebas. Inicialmente se esperaba que todos los alumnos pudiesen realizar las cuatro pruebas de manera correcta, pero una vez evaluados se observó que los alumnos menores de 10 años no podían realizar las pruebas de manera apropiada y controlada, debido a no tener fuerza suficiente para hacer ni un solo abdominal, una sola repetición de bíceps con el peso mínimo y en la prueba de flexibilidad no podían mantener la técnica correcta. También hubo el caso de alumnos con operaciones realizadas o con heridas o lesiones actuales que impidieron que realicen las cuatro pruebas. En la Tabla 18 se muestra la cantidad de alumnos que realizaron cada prueba.

Tabla 18.

Distribución de alumnos y pruebas realizadas en las pruebas de campo.

Resumen de datos por prueba		
N.º de alumnos en salto	N.º de videos de salto	N.º de videos de salto esperado
228	682	684
N.º de alumnos en estiramiento	N.º de videos de estiramiento	N.º de videos de estiramiento esperado
207	613	621
N.º de alumnos en bíceps	N.º de videos de bíceps	N.º de videos de bíceps esperado
204	204	204
N.º de alumnos en abdominales	N.º de videos de abdominales	N.º de videos de abdominales esperado
204	202	204
Total	1701	1713

Los 228 alumnos pertenecen a los últimos grados de educación primaria y toda secundaria con una edad entre 8 y 18 años, donde la edad promedio es de 13.96 años. En total fueron 120 alumnos varones y 108 alumnas mujeres. La distribución de datos antropométricos de los alumnos se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19.

Distribución de datos antropométricos de los alumnos en las pruebas de campo.

Dato	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Promedio hombres	Promedio mujeres
Talla	159.78cm.	10.65	129.00cm.	183.00cm.	164.29cm.	155.05cm.
Peso	56.40kg.	12.57	20.90kg.	101.00kg.	59.01kg.	53.66kg.
Circunferencia de cintura	76.12cm.	9.55	55.00cm.	110.00cm.	78.31cm.	73.82cm.
IMC	21.93	3.77	11.99	40.32	21.74	22.14

Una vez recolectados los datos se procede a obtener el porcentaje de precisión y estadísticas sobre el desempeño del software. Dichos datos se muestran en la Tabla 20 y Tabla 21.

Tabla 20.

Porcentaje de precisión del software en entorno de campo.

Prueba	Promedio de acierto	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Salto horizontal sin impulso	94.20%	3.23%	0.00%	13.35%
Flexibilidad	86.74%	12.07%	0.07%	70.11%
Flexión de bíceps	98.26%	7.11%	0.00%	66.67%
Flexión de abdominales	97.28%	12.35%	0.00%	100%

Tabla 21.

Datos de precisión del software en ambiente de campo.

Prueba	Promedio de error	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Salto horizontal sin impulso	8.84 cm.	5.42cm.	0.00cm.	23.62cm.
Flexibilidad	3.34cm.	3.18cm.	0.01cm.	16.90cm.
Flexión de bíceps	0.19 repeticiones	0.71 repeticiones	0 repeticiones	6 repeticiones
Flexión de abdominales	0.20 repeticiones	0.91 repeticiones	0 repeticiones	9 repeticiones

Se puede observar la representación de la precisión por cada prueba de aptitud física en las Figuras 38, 39, 40 y 41.

Figura 38. Prueba de flexión de abdominales por control y software.

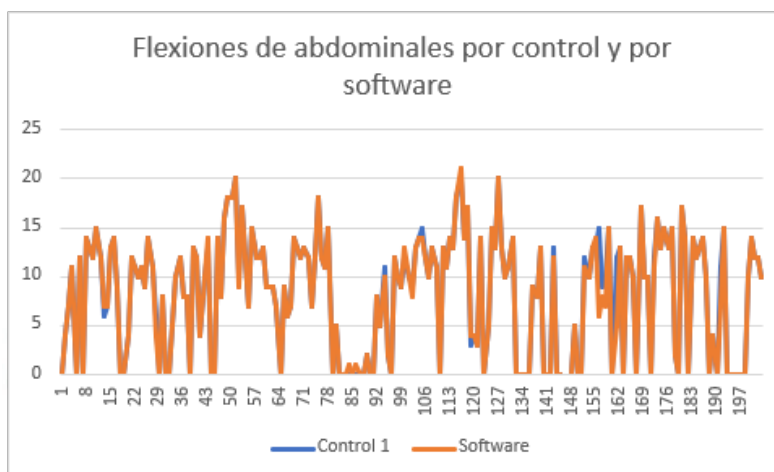


Figura 39. Prueba de flexión de bíceps por control y software.

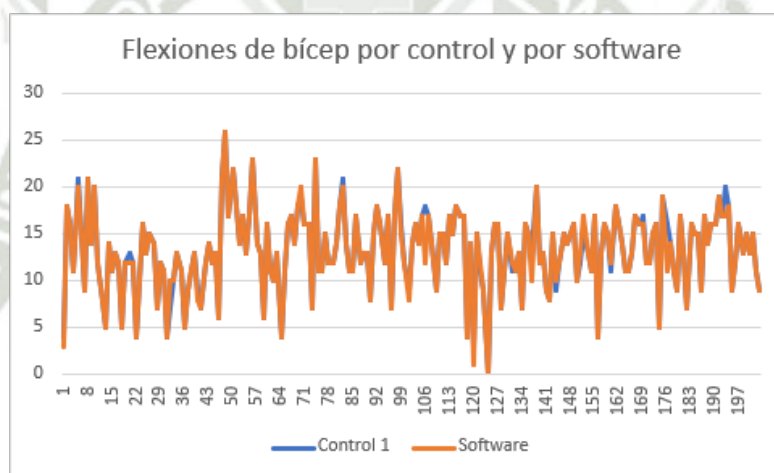


Figura 40. Prueba de flexibilidad por control y software.

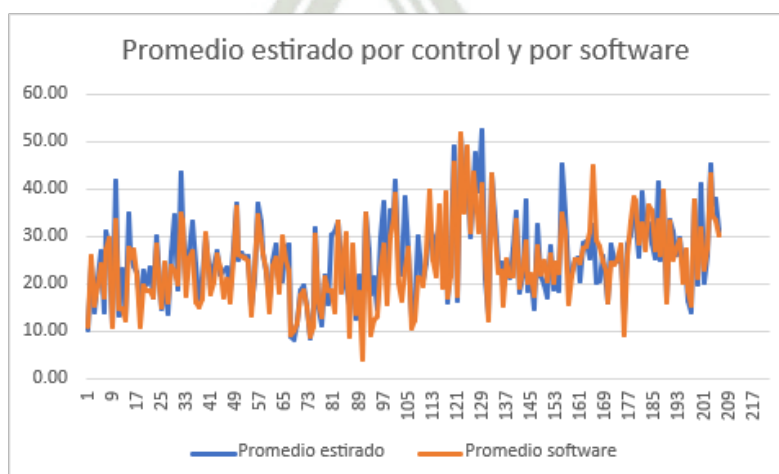
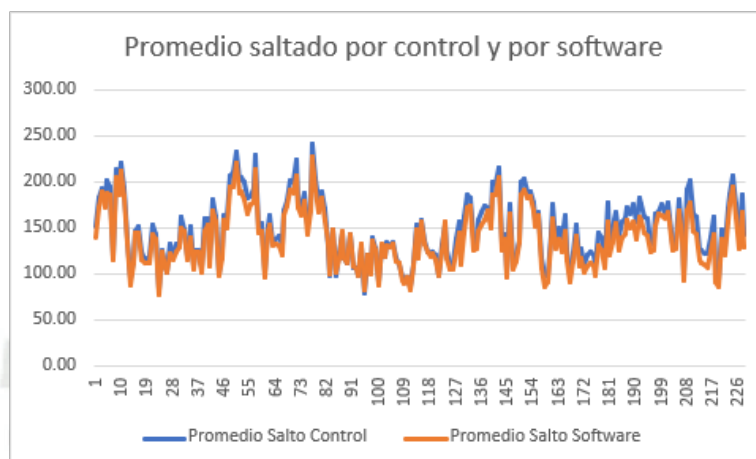


Figura 41. Prueba de salto horizontal sin impulso por control y software.



A. Prueba de Flexibilidad

Para la prueba de flexibilidad, el alumno se sienta en el piso, en frente de la caja de Wells, “Sit and Reach”, con los pies en la caja, las piernas estiradas, la espalda lo más recta posible antes de iniciar la prueba y las puntas de sus dedos en la barra negra de inicio en la caja. La cámara debe estar al costado del alumno a 2.5 metros de distancia y a 1 metro de altura del piso. Cuando el alumno se encuentra en dicha posición se inicia la grabación, se identifica al alumno, se le indica al alumno que se estire lo más que pueda, cuando no pueda estirarse más el alumno da una señal verbal, levanta las manos de la caja y el evaluador se aproxima a tomar el control. El control se dice en voz alta para la cámara y se finaliza la grabación. A continuación, la Figura 42 muestra un ejemplo real de la distribución de la prueba en mención.

Figura 42. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de flexibilidad.



B. Prueba de Salto Horizontal sin Impulso

Para la prueba de salto horizontal, el alumno se posiciona en el punto “Y” mostrado en la Figura 38, la cámara se ubica al costado del alumno a 2.5 metros de distancia y 1 metro de altura del piso como se describe en la Figura 39. Nuevamente se posiciona al alumno de tal forma que las puntas de sus pies se ubiquen al inicio del centímetro con el cual se realiza el control. Se inicia la grabación, se identifica al alumno y se le indica que realice el salto. Si realiza el salto correctamente se toma la medición de control, se dice dicha medición en voz alta para la cámara y se finaliza la grabación. A continuación, la Figura 43 muestra un ejemplo real de la distribución de la prueba en mención.

Figura 43. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de salto horizontal.



C. Prueba de Bíceps

En el caso de la prueba de bíceps el alumno se posiciona en el punto “X” de la Figura 38, observando la cámara de frente. Nuevamente la cámara se ubica a 2.5 metros en frente del alumno y a 1 metro de altura del piso. El alumno sostiene la mancuerna con el peso apropiado con su mano más dominante. Se inicia la grabación, se identifica al alumno y se le indica que inicie a realizar flexiones de bíceps y al mismo tiempo se inicia el cronometro. Una vez el alumno no puede realizar más repeticiones o el contador llega a 30 segundos, se le indica al alumno que estire el brazo que sostiene la mancuerna lo más que pueda, se dice el control de repeticiones para la cámara y se finaliza la grabación. A continuación, la Figura 44 muestra un ejemplo real de la distribución de la prueba en mención.

Figura 44. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de flexión de bíceps.



Para la prueba de bíceps se utilizó un set de mancuernas modulares, donde la barra sola pesa 1.0kg., las mariposas para sostener los pesos pesan 0.5kg. y cada disco pesa 0.5kg., 1.25kg. y 2.5kg.

D. Prueba de Abdominales

Finalmente, en el caso de la prueba de abdominales el alumno se hecha sobre una colchoneta, se posiciona la cámara al costado del alumno a 2.5 metros de distancia y 1 metro de altura del piso. El alumno debe doblar sus rodillas como mínimo 45 grados, idealmente 90 grados y posicionar ambos pies juntos en el piso. El alumno coloca sus manos detrás de la cabeza o cruzadas en el pecho y evita que se muevan durante la prueba. Se inicia la grabación, se identifica al alumno y se le indica al alumno que empiece a realizar abdominales tratando de llevar el mentón lo más cercano a sus rodillas posible y se inicia el cronometro. Una vez el alumno no pueda realizar más abdominales o el cronometro llega a 30 segundos se le indica al alumno que se heche en la colchoneta en la posición de inicio, se dice el control de repeticiones en voz alta a la cámara y se finaliza la grabación. A continuación, la figura 45 muestra un ejemplo real de la distribución de la prueba en mención.

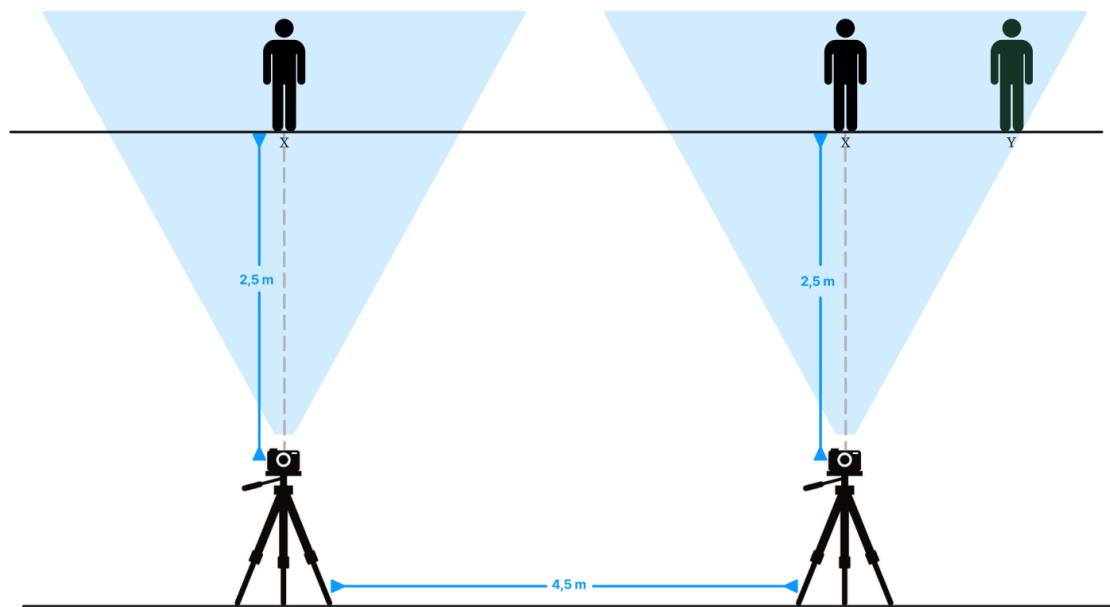
Figura 45. Ejemplo de ambiente para la evaluación de prueba de flexión de abdominales.



En el caso de las pruebas de bíceps y abdominales solo se realiza una captura. Para las pruebas de salto y flexibilidad se realizan tres capturas de videos, permitiendo estimación del promedio entre las tres medidas alcanzadas en cada prueba. Cada captura es individual y debe seguir el proceso descrito. Si ocurriese algún problema de ejecución de técnica, ruido visual o algún otro inconveniente, se necesita ejecutar nuevamente la prueba.

La configuración técnica de los videos utilizando las cámaras Canon se detalla a continuación: el formato de grabación es “.mp4”, con una resolución de “1280x720p” y con una velocidad “60 FPS”. Con estas características de video se obtuvo el mayor porcentaje de precisión frente a otras configuraciones de video. Adicionalmente en la recolección de campo se utilizaron dos cámaras al mismo tiempo, evaluando independientemente dos tipos de pruebas por cada cámara, asegurando una distancia mínima de 4.5 metros entre cada cámara, agilizando así el proceso de recolección, tal como se aprecia en la Figura 46. Sin embargo, esta distribución puede reducirse al uso de una sola cámara dependiendo al espacio disponible de pruebas, sin afectar la recolección de datos.

Figura 46. Distribución de las dos cámaras Canon.



Es necesario considerar que, para este tipo de recolección, se almacenan los videos en las memorias de las cámaras, para que posteriormente puedan ser enviadas a un servidor dedicado para los fines de este proyecto.

Para la captura de datos en campo fue necesario conseguir permiso explícito tanto de las autoridades de cada colegio donde se realizaron las pruebas, como por parte del tutor legal del alumno. Para ello se utilizó la autorización proporcionada por el Dr. José Sulla Torres.

En resumen, la autorización permite que los tutores legales del alumno acepten que su menor hijo/a pueda participar en el proyecto, detallando que se le realizaran grabaciones de las cuatro pruebas de aptitud física definidas. Además, los alumnos participaron por voluntad propia en las pruebas de aptitud, indicándoles previamente la técnica apropiada según la prueba, minimizando de esta forma que se puedan generar lesiones y se obtenga el mejor rendimiento del alumno.

Finalmente, los datos recopilados fueron cuidadosamente utilizados únicamente para los fines de investigación del proyecto. Así también, para tener un mejor ordenamiento de los videos almacenados, se decidió etiquetar cada uno de estos con un nombre estructurado único, el cual

contiene información del tipo de ejercicio, la edad y sexo del alumno, el “ID” de la cámara con la que se realizó la grabación y el “ID” único del video generado por la cámara. Por ejemplo, si la prueba identificada es de abdominales, se le asigna una abreviatura, en este caso “ABD”, además fue realizado por un niño de 10 años y fue el primer video tomado por la cámara 1, entonces la etiqueta que le corresponde es “ABD_10_M_01_0001”. Luego de haber etiquetado los videos, se procede con la etapa de limpieza, donde por lo general se eliminan los videos que contienen excesivo ruido visual y/o por la inadecuada ejecución del ejercicio. Posteriormente, se realiza la carga de estos videos etiquetados a un servidor independiente de modelo “Wester Union Digital Model 1500”.

7.2 Recolección y Procesamiento en Laboratorio

La recolección de datos en laboratorio consistió en recopilar los mismos datos de las pruebas de campo con la diferencia de que en este entorno se utilizó una cámara Azure Kinect. Para este tipo de recolección no se grabaron videos, puesto que las pruebas evaluadas fueron procesadas en tiempo real y los datos por participante en cada prueba se exportaron a hojas de datos en Microsoft Excel para su posterior análisis, se puede apreciar una muestra de los datos en el Anexo G.2. La resolución RGB establecida para la cámara Kinect fue de “1920x1080p” con una velocidad de “30FPS”, mientras que la resolución del sensor de profundidad fue de “640x576p”. La distribución del entorno sigue las medidas establecidas anteriormente para las pruebas en campo, no existiendo diferencia en este punto. Los participantes seleccionados para las pruebas de laboratorio fueron 51 estudiantes de primer año de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la UCSM, los cuales tiene entre 17 y 19 años, con una edad promedio de 17.75, donde 43 alumnos eran hombres y 8 mujeres, se puede observar una descripción de los datos antropométricos de los alumnos en la Tabla 22. Debido a la naturaleza del entorno de laboratorio se pudo controlar factores como la iluminación y ruido visual en las evaluaciones de las pruebas. Sin embargo, no se pudo controlar totalmente la indumentaria ideal de los

estudiantes voluntarios, logrando que se cumpla lo mínimo indispensable que fue no llevar puesto alguna pulsera o accesorio reflectivo y no utilizar casacas o poleras, ni algún otro tipo de ropa holgada.

Tabla 22.

Distribución de datos antropométricos de los alumnos en pruebas de laboratorio

Dato	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Promedio hombres	Promedio mujeres
Talla	172.07cm.	8.16	151.00 cm.	187.00 cm.	174.55 cm.	158.75 cm.
Peso	70.95 kg.	14.00	47.80 kg.	109.30 kg.	73.20 kg.	58.88 kg.
Circunferencia de cintura	80.70 cm.	12.56	63.00cm.	119.00 cm.	81.76 cm.	75.00 cm.
IMC	23.86	3.85	17.55	38.26	23.96	23.36

Una vez recolectados los datos se procede a obtener los porcentajes de precisión del software por cada prueba. Dichos porcentajes se pueden observar en las Tablas 23 y 24 mientras las Figuras 47, 48, 49 y 50 muestran una representación gráfica de estos datos.

Tabla 23.

Porcentaje de precisión del software en ambiente de laboratorio.

Prueba	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Salto horizontal sin impulso	98.13%	2.07%	0.11%	10.77%
Flexibilidad	69.01%	21.12%	0.65%	76.27%
Flexión de bíceps	64.21%	34.38%	0.00%	100.00%
Flexión de abdominales	98.30%	10.03%	0.00%	70.00%

Tabla 24.

Datos de precisión del software en ambiente de laboratorio.

Prueba	Promedio de error	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Salto horizontal sin impulso	2.74 cm.	2.87cm.	0.15cm.	15.76 cm.
Flexibilidad	12.86 cm.	17.84 cm.	0.10 cm.	88.25 cm.
Flexión de bíceps	4.69 repeticiones	4.74 repeticiones	0 repeticiones	17 repeticiones
Flexión de abdominales	0.18 repeticiones	1.01 repeticiones	0 repeticiones	7 repeticiones

Figura 47. *Precisión de prueba de salto horizontal sin impulso.*

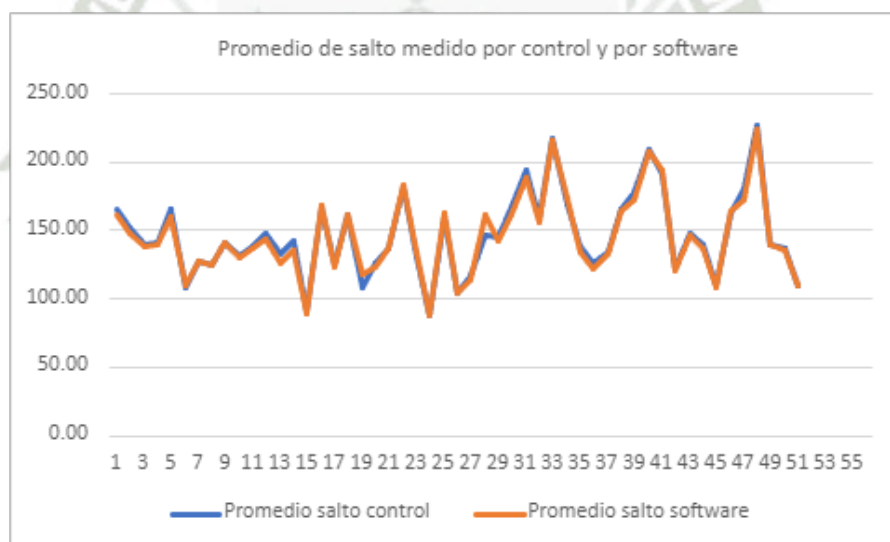


Figura 48. Precisión de prueba de flexibilidad.

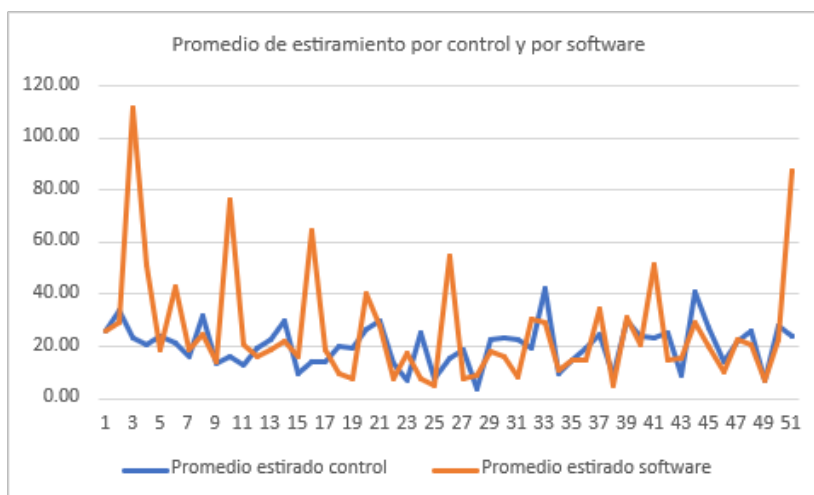


Figura 49. Precisión de prueba de flexión de abdominales.

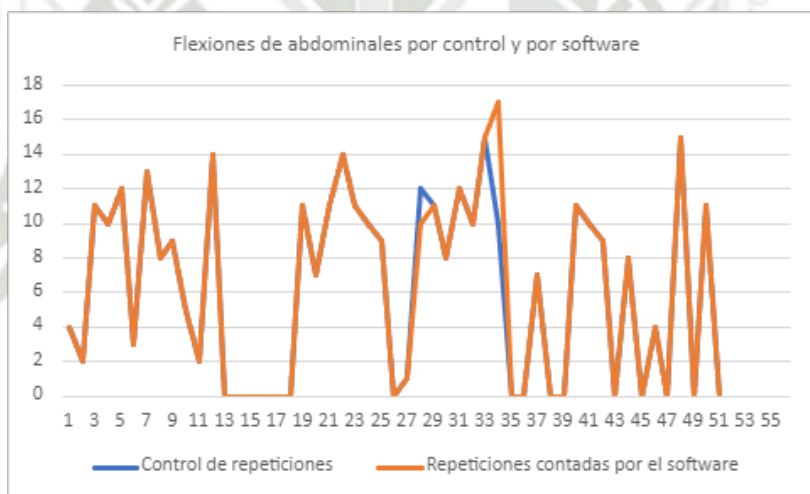
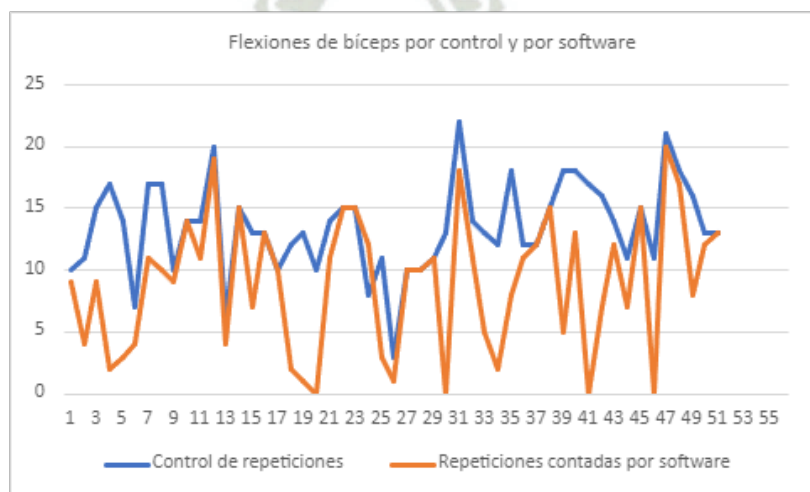


Figura 50. Precisión de prueba de flexión de bíceps.



En la toma de pruebas en laboratorio se nota una fuerte tendencia a pérdida de cuerpo por parte del software en la prueba de flexibilidad y en la prueba de flexión de bíceps. Para el caso de la prueba de flexibilidad ocurre el mismo problema que en las pruebas de campo. Debido a que el cuerpo del estudiante toma una posición innatural en el punto de estiramiento máximo, el software pierde la imagen del cuerpo y los puntos de articulación. Por ende, se toman cuerpos falsos y afecta muy significativamente la prueba. Finalmente, debido a la naturaleza de la prueba, el alumno realiza movimientos minúsculos constantes que generan errores, adicionalmente el error significativo general de esta prueba es alto debido a que el software tiende a fallar entre 0 a 20 centímetros, lo cual es una cantidad determinante en una prueba donde el máximo estirado es de 50 centímetros. Adicionalmente se eliminaron seis registros donde se pierde por completo el cuerpo y el porcentaje de error se dispara hasta un 300% de porcentaje de error, debido a que estas son anomalías no representativas del verdadero nivel de precisión del software, sino que representan la gran inestabilidad en el reconocimiento de cuerpo para esta prueba. En el caso de la prueba de flexión de bíceps, se pierde el ángulo entre hombro, codo y muñeca debido a que se usan coordenadas tridimensionales y esto facilita que las extremidades generen mayor cantidad de errores en su posición estimada y por ende afecta la precisión del software. Este fenómeno contrasta significativamente con el uso de coordenadas bidimensionales para la medición de ángulos, donde se obtuvo mucho mayor porcentaje de precisión.

No obstante, debido al mismo uso de coordenadas tridimensionales el porcentaje de precisión de la prueba de salto es significativamente mayor, gracias a que no se necesita transformar unidades, de pixeles a metros, lo cual genera una mayor precisión. Para el caso de abdominales, debido a que el movimiento del torso es prácticamente solo en coordenadas bidimensionales y también debido a que el torso es más fácil de identificar y seguir por parte del software, el porcentaje de precisión es bastante alto. A continuación, se presentan el escenario utilizado para

las pruebas en las Figuras 51 y 52, mientras que en las Figuras 53, 54 y 55 se visualiza la ejecución de las pruebas.

Figura 51. Escenario para la prueba de flexión de bíceps y abdominales.



Figura 52. Escenario para la prueba de salto horizontal sin impulso y flexibilidad.



Figura 53. Ejecución de prueba de abdominales.



Figura 54. Ejecución de prueba de bíceps.

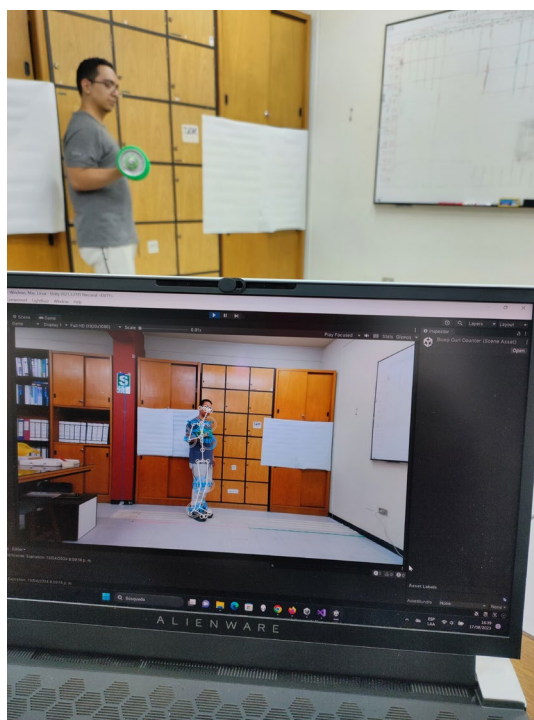


Figura 55. Ejecución de prueba de flexibilidad.





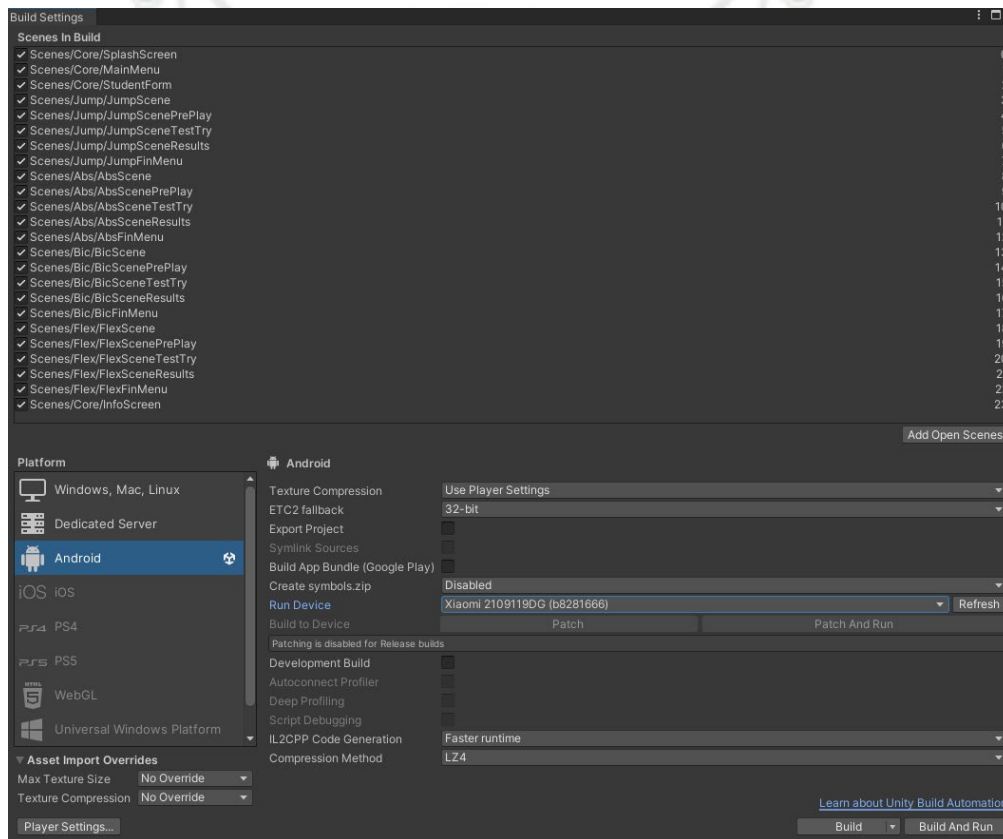
CAPITULO VIII

8. DESPLIEGUE

8.1 Prototipo

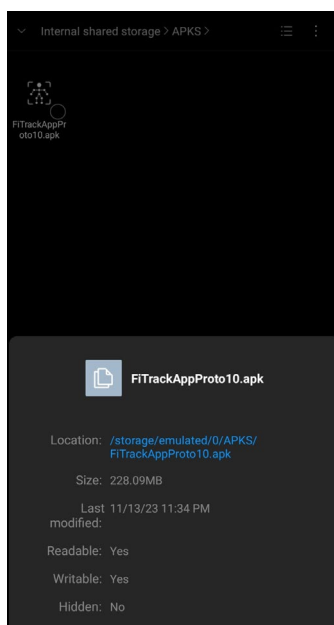
Las interfaces finales generadas para la versión de nuestro prototipo se pueden observar en el Anexo B. Dichas interfaces fueron capturadas en tiempo de ejecución mientras se ejecutaban las pruebas funcionales. En total fueron generadas 24 interfaces y la configuración de su correcta exportación desde Unity se puede apreciar en la Figura 56.

Figura 56. Configuración de "Build Settings" en Unity.



El prototipo final fue exportado en un archivo “.apk” para su instalación en cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android 10 como mínimo y que se encuentre en la lista de dispositivos recomendados por LightBuzz SDK. Revisar Anexo C. La Figura 57 muestra el prototipo instalado con un peso de 228MB aproximadamente.

Figura 57. Información de prototipo instalado en celular.



8.2 Registro de Propiedad Intelectual

Como parte final de la etapa de despliegue, se encuentra en trámite el registro de propiedad intelectual para el software descrito en la presente investigación. Una vez obtenida dicha protección, la cual estará a nombre de la UCSM, se puede proceder a realizar las ediciones necesarias para que el software presentado este a un nivel de distribución comercial. Esto implica un proceso de despliegue de mayor complejidad, el cual escapa del alcance del presente proyecto.



CAPITULO IX

9. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

9.1 Análisis de Datos

Como fue mencionado en secciones anteriores, esta investigación forma parte de un conjunto de investigaciones de mayor alcance. Entre estas se encuentra la investigación realizada por el Dr. Marco Cossio-Bolaños y la Dra. Rossana Gómez-Campos de la cual se analizaron 2000 estudiantes entre las edades 6 a 16 años. A dicha investigación también se le agrega los datos recopilados en este proyecto. De todos estos datos se obtienen percentiles utilizados para medir el desempeño de los estudiantes en las cuatro pruebas según su edad y sexo, como se muestra en la Figura 58. (Pezoa-Fuentes et al., 2022) (Espinoza et al., 2022)

Adicionalmente, se analizaron los patrones en los ángulos de articulaciones al momento de realizar el salto horizontal, para obtener información general del conjunto de músculos que puede tener mayor impacto en los resultados de esta prueba. Se puede observar dichos patrones en los siguientes gráficos presentado en las Figuras 59, 60 y 61.

Los percentiles de aptitud física se utilizan para evaluar y comparar el rendimiento de una persona en una o más pruebas físicas en relación con un grupo de referencia. Es importante tener en cuenta que los percentiles de aptitud física deben interpretarse con cautela y considerar otros factores, como la salud general, las metas personales y las limitaciones individuales. Además, las normas y los grupos de referencia pueden variar según la edad, el género y otros factores demográficos. Muchos de ellos, dependen de factores socioculturales de cada país.

Figura 58. Percentiles para cada prueba.

<P15 baja aptitud física; P15 a P85 moderada aptitud física, >P85 elevada aptitud física																							
Age	Hombres										Mujeres												
	P3	P5	P10	P15	P25	P50	P75	P85	P90	P95	P97	P3	P5	P10	P15	P25	P50	P75	P85	P90	P95	P97	
Abdominales											Abdominales												
6	12,9	13,8	15,2	16,1	17,6	20,4	23,4	25,1	26,2	28,0	29,1	14,07	15,00	16,50	17,56	19,18	22,40	25,89	27,87	29,25	31,37	32,78	
7	13,5	14,7	16,5	17,7	19,6	23,2	26,9	29,0	30,4	32,5	33,9	14,17	15,30	17,10	18,35	20,25	23,97	27,90	30,09	31,60	33,89	35,41	
8	13,0	14,4	16,6	18,1	20,4	24,6	28,9	31,2	32,7	35,0	36,5	13,55	14,85	16,90	18,31	20,42	24,46	28,63	30,91	32,48	34,82	36,36	
9	11,8	13,5	16,1	17,8	20,3	25,0	29,6	32,0	33,6	36,1	37,6	12,75	14,17	16,39	17,89	20,13	24,34	28,61	30,91	32,48	34,82	36,34	
10	11,0	12,9	15,7	17,5	20,2	25,2	30,0	32,6	34,3	36,8	38,5	12,30	13,78	16,06	17,61	19,90	24,20	28,53	30,86	32,44	34,79	36,32	
11	11,1	13,1	16,1	18,1	21,0	26,3	31,5	34,3	36,1	38,9	40,6	12,29	13,78	16,10	17,68	20,02	24,43	28,89	31,30	32,94	35,38	36,97	
12	12,2	14,3	17,6	19,8	23,0	28,9	34,8	37,9	40,1	43,2	45,2	12,81	14,36	16,77	18,42	20,90	25,60	30,42	33,05	34,84	37,52	39,28	
13	13,4	15,7	19,2	21,6	25,1	31,7	38,3	41,8	44,2	47,8	50,1	13,30	14,90	17,41	19,15	21,77	26,83	32,07	34,96	36,94	39,92	41,87	
14	14,2	16,6	20,3	22,9	26,6	33,7	40,8	44,7	47,3	51,2	53,7	13,37	14,99	17,56	19,36	22,08	27,39	32,96	36,06	38,19	41,41	43,54	
15	14,5	17,0	20,9	23,5	27,5	35,0	42,5	46,6	49,4	53,5	56,2	13,03	14,64	17,23	19,04	21,81	27,24	32,99	36,21	38,43	41,80	44,02	
16	14,5	17,1	21,3	24,1	28,3	36,1	44,1	48,4	51,4	55,7	58,6	12,52	14,12	16,69	18,49	21,26	26,73	32,56	35,83	38,10	41,55	43,83	
Flexibilidad											Flexibilidad												
6	11,0	15,3	20,8	24,1	28,5	35,9	42,6	45,9	48,0	51,2	53,1	13,22	16,40	20,97	23,90	28,04	35,33	42,20	45,76	48,12	51,56	53,76	
7	10,7	14,4	19,4	22,6	26,9	34,3	41,2	44,7	47,0	50,3	52,4	13,55	16,57	21,03	23,94	28,12	35,61	42,82	46,59	49,11	52,80	55,17	
8	11,0	14,2	18,9	22,0	26,2	33,8	41,0	44,8	47,3	50,9	53,2	14,17	17,11	21,54	24,48	28,75	36,53	44,14	48,17	50,88	54,86	57,43	
9	11,5	14,4	18,8	21,7	26,0	33,6	41,1	45,1	47,8	51,7	54,2	14,87	17,77	22,18	25,14	29,47	37,45	45,34	49,55	52,39	56,58	59,29	
10	12,1	14,8	19,0	21,7	25,9	33,5	41,2	45,3	48,1	52,3	55,0	15,17	18,03	22,40	25,32	29,61	37,51	45,34	49,52	52,33	56,49	59,19	
11	12,7	15,1	19,0	21,7	25,6	33,2	40,9	45,0	47,9	52,1	54,9	15,21	18,02	22,29	25,13	29,30	36,95	44,48	48,49	51,19	55,17	57,75	
12	13,0	15,3	18,9	21,4	25,2	32,4	39,9	44,0	46,8	51,0	53,8	15,46	18,26	22,48	25,28	29,35	36,79	44,06	47,91	50,49	54,30	56,76	
13	13,9	16,1	19,6	22,1	25,8	32,9	40,3	44,4	47,3	51,5	54,3	16,47	19,31	23,56	26,37	30,43	37,82	44,99	48,77	51,31	55,04	57,44	
14	15,6	17,8	21,3	23,7	27,4	34,6	42,1	46,3	49,1	53,4	56,3	18,17	21,01	25,26	28,06	32,11	39,45	46,57	50,32	52,83	56,51	58,88	
15	17,6	19,8	23,2	25,6	29,2	36,3	43,7	47,9	50,8	55,1	57,9	20,13	22,88	26,99	29,71	33,66	40,80	47,74	51,40	53,85	57,44	59,76	
16	19,6	21,6	24,9	27,1	30,6	37,3	44,5	48,5	51,3	55,5	58,3	21,73	24,25	28,04	30,56	34,22	40,90	47,42	50,86	53,17	56,57	58,76	
Salto horizontal											Salto horizontal												
6	54,7	59,3	66,1	70,5	77,0	88,5	99,6	105,3	109,2	114,8	118,4	50,32	54,14	59,83	63,55	68,90	78,45	87,58	92,32	95,49	100,10	103,05	
7	58,9	63,9	71,3	76,2	83,2	95,7	107,7	114,0	118,2	124,3	128,2	54,39	58,59	64,86	68,97	74,89	85,52	95,71	101,02	104,57	109,75	113,06	
8	62,9	68,2	76,2	81,4	88,9	102,4	115,2	121,9	126,4	132,9	137,1	58,84	63,45	70,35	74,89	81,45	93,28	104,66	110,62	114,60	120,42	124,15	
9	66,1	71,7	80,0	85,5	93,3	107,4	120,8	127,8	132,5	139,4	143,8	62,54	67,48	74,93	79,85	86,98	99,90	112,42	118,99	123,39	129,85	134,00	
10	69,2	74,9	83,5	89,1	97,2	111,8	125,9	133,3	138,3	145,5	150,1	64,81	69,95	77,75	82,93	90,49	104,31	117,82	124,96	129,75	136,81	141,36	
11	72,6	78,3	87,0	92,8	101,2	116,5	131,5	139,4	144,7	152,4	157,5	66,27	71,41	79,29	84,59	92,38	106,82	121,17	128,84	134,02	141,68	146,64	
12	76,7	82,4	91,2	97,1	105,8	121,9	138,0	146,6	152,3	160,9	166,5	68,26	73,15	80,79	86,01	93,79	108,56	123,64	131,84	137,44	145,81	151,28	
13	81,7	87,5	96,5	102,6	111,7	128,9	146,4	155,9	162,3	171,9	178,2	70,82	75,40	82,67	87,72	95,39	110,35	126,14	134,96	141,05	150,29	156,41	
14	87,6	93,6	103,0	109,5	119,2	137,8	156,9	167,4	174,6	185,3	192,4	73,62	77,88	84,75	89,61	97,10	112,15	128,65	138,13	144,81	155,08	162,01	
15	94,0	100,4	110,3	117,2	127,5	147,5	168,2	179,7	187,6	199,5	207,3	76,70	80,66	87,13	91,77	99,05	114,08	131,23	141,41	148,71	160,20	168,10	
16	100,2	106,9	117,4	124,7	135,7	157,0	179,2	191,4	199,9	212,6	221,0	78,67	82,32	88,34	92,72	99,66	114,39	131,86	142,57	150,43	163,08	171,99	
Biceps											Biceps												
10	8.18	8.3	8.6	8.9	10.5	13	17.5	20.1	20.4	20.7	20.82	7.48	7.8	8.6	9.4	11	12	13	13.4	13.6	12	12.8	
11	8.36	8.6	9.2	9.8	11	14	15	16.2	16.8	17.4	17.64	11.12	11.2	11.4	11.6	12	13	14	14.8	15.2	13	13.8	
12	9.72	10.2	11.4	12.6	13.5	15	16.5	17.5	17.5	19	20.5	21.1	7.72	8.2	9.4	10.6	11.5	13	15.5	16.1	16.4	13	15.2
13	13.15	13.25	13.5	13.75	14.25	15.5	16.75	17.5	18	15.5	16.5	9.06	9.1	9.2	9.3	9.5	10	12.5	13.5	14	10	12	
14	7.36	7.6	8.2	8.8	10	15	16.5	17.1	17.4	15	16.2	3.12	3.2	3.4	3.6	4	9	12	12.8	13.2	9	11.4	
15	7.16	8.6	11.4	12.6	14	17	20	21.2	21.8	17	19.4	1.26	2.1	4.2	6.3	8	11	15	16.1	16.4	11	14.4	
16	4.45	4.75	5.5	6.25	8.5	14	15.75	18.5	21	14	15.5	4.36	4.6	5.2	5.8	7	10	13	14.4	15.6	10	12.4	
17	4.45	4.75	5.5	6.25	8.5	14	15.75	18.5	21	14	15.5	4.21	4.35	4.7	5.2	8	12.5	15.25	15.95	17.2	12.5	14.9	
18	15.03	15.05	15.1	15.15	15.25	15.5	15.75	15.85	15.9	15.5	15.7	7.18	7.3	7.6	7.9	8.5	10	11.5	12.1	12.4	10	11.2	

Los percentiles proporcionan una perspectiva sobre el rendimiento físico de un alumno. Por ejemplo, un percentil alto sobre el 85% indica un rendimiento por encima de la mayoría de las personas en el grupo de referencia. Lo cual, indica que se puede categorizar como elevado rendimiento, entre el percentil 15% a 85% se categoriza como adecuado, y menor al percentil 15% se categoriza como aptitud física descendida.

Figura 59. Distribución entre distancia de salto y ángulos del control 1.

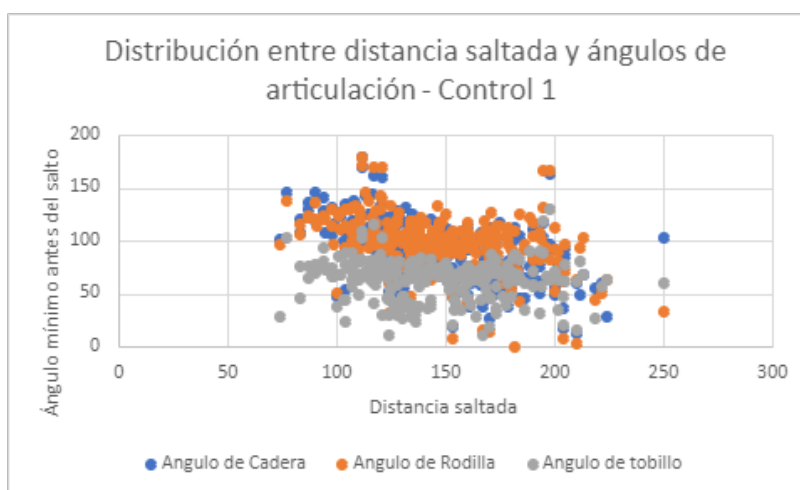


Figura 60. Distribución entre distancia de salto y ángulos del control 2.

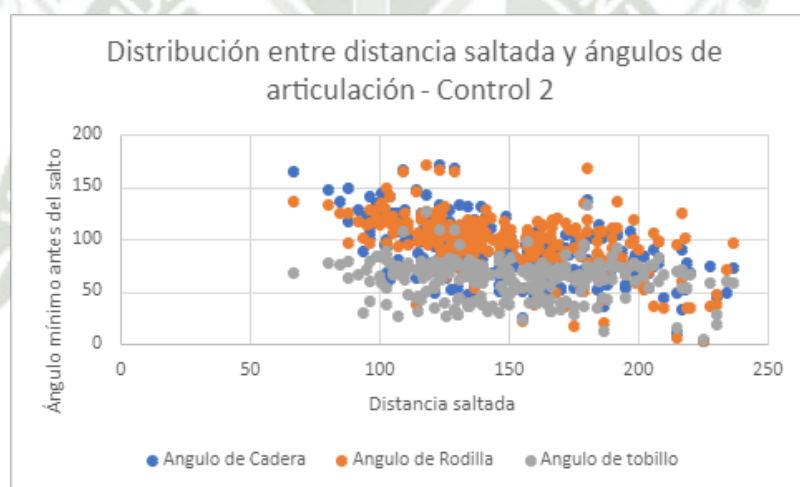
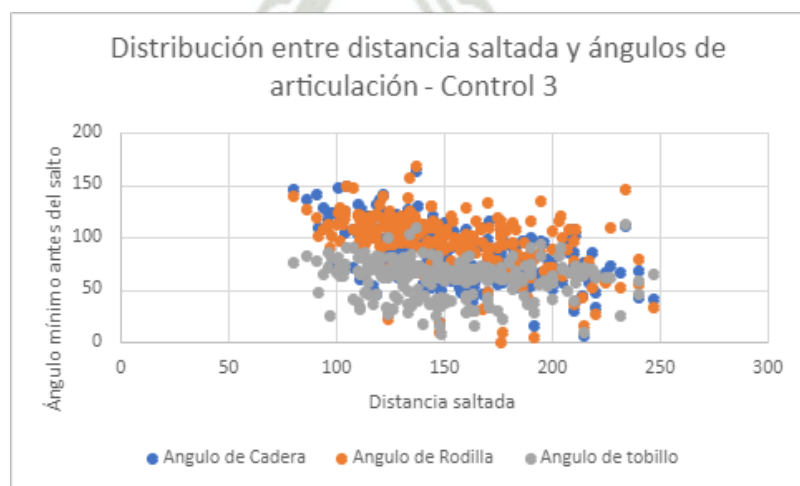


Figura 61. Distribución entre distancia de salto y ángulos del control 3.



El análisis de correlación entre cada ángulo y la distancia saltada se observa en la Tabla 25.

Tabla 25.

Coefficiente de correlación entre control y ángulo correspondiente.

Variables	Coefficiente de correlación	Correlación	Coefficiente de correlación promedio	Correlación
Control 1 y ángulo de cadera	-0.5	Moderada		
Control 2 y ángulo de cadera	-0.5	Moderada	-0.5	Moderado
Control 3 y ángulo de cadera	-0.5	Moderada		
Control 1 y ángulo de rodilla	-0.4	Moderada		
Control 2 y ángulo de rodilla	-0.5	Moderada	-0.5	Moderado
Control 3 y ángulo de rodilla	-0.5	Moderada		
Control 1 y ángulo de tobillo	-0.1	Débil		
Control 2 y ángulo de tobillo	-0.1	Débil	-0.1	Débil
Control 3 y ángulo de tobillo	-0.1	Débil		

Podemos observar que los músculos de la cadera, glúteos, isquiotibiales y extensores de espalda baja tienen el mayor impacto en el desempeño del salto, seguido de los músculos extensores de rodilla, cuádriceps. También podemos observar que no parece impactar significativamente la flexión de tobillo en el desempeño en el salto.

9.2. Validación Cualitativa

Con el fin de conocer el nivel de satisfacción del usuario con el prototipo presentado se decide utilizar el modelo ampliado de MOSCA o Modelo Sistemático de Calidad de Software, el cual es un modelo de evaluación de específico a software con fines educativos. Como el prototipo presentado busca ser utilizado en ambientes de educación básica, este método de evaluación resulta ideal. A continuación, se presentan los métodos de evaluación según el

modelo MOSCA ampliado para ambientes y contextos educativos. Para la evaluación se basan las preguntas en tres categorías, funcionalidad, usabilidad y fiabilidad. Como guía del cuestionario se utiliza la Tabla 26, la cual describe la cantidad de preguntas para cada categoría. (Díaz-Antón et al., 2002)

Tabla 26.

Preguntas de cuestionario según categorías.

Categoría	Características	Subcaracterísticas
Funcionalidad (FUN)	FUN.1 Funcionalidad básica (6)	FUN.1.1 General (1) FUN.1.2 Ejemplo (1) FUN.1.3 Retroalimentación (1) FUN.1.4 Evaluación y registro de datos (3)
	FUN.2 Precisión (2)	
Usabilidad (USA)	USA.1 Facilidad de uso	USA.1.1 General (1) USA.1.2 Interactividad (1) USA.1.3 Diseño de Interfaz (5) USA.1.4 Guías Didácticas (1) USA.1.5 Capacidad de uso (2) USA.1.6 Interfaz gráfica (2) USA.1.7 Operabilidad (3)
Fiabilidad (FIA)	FIA.1 Confiabilidad de uso	FIA.1.1 Recuperación (2) FIA.1.2 Tolerancia a fallas (2)

Para poder obtener estos resultados, primeramente, se realizó una breve presentación del aplicativo a los profesores. Luego, se les indicó que utilizaran el aplicativo para evaluar la aptitud física en sus alumnos, que previamente habían sido evaluados con la versión de escritorio. Finalmente, cuando se completaron las evaluaciones, se les otorgó a los profesores el cuestionario realizado. Donde, después de analizados los datos se obtuvo un nivel de satisfacción del 100% en cuestión a la funcionalidad. En cuestión a la usabilidad se obtuvo un nivel de satisfacción del 97% y para la fiabilidad un 100%. Los resultados obtenidos de dicho cuestionario se observan en la siguiente Tabla 26. Además, se puede observar los resultados obtenidos a mayor detalle en el Anexo A.

Tabla 27.*Resultados de validación por cuestionario.*

Funcionalidad	Usabilidad	Fiabilidad	Nivel de calidad
Satisfecha	Satisfecha	Satisfecha	Avanzada

Finalmente se tomaron dos preguntas externas al análisis MOSCA ampliado que se consideraron significativas. Dichas preguntas fueron “¿Estaría dispuesto a utilizar este aplicativo en su práctica educativa?” y “¿Tiene algún comentario adicional o sugerencia para mejorar el aplicativo?”. Para la primera pregunta, los profesores indicaron estar dispuestos a utilizar este aplicativo o futuras versiones donde se pueda almacenar y analizar a mayor profundidad el historial de datos de aptitud física del alumno. Mientras que, para la segunda pregunta, los profesores expresaron gran interés y gusto por el aplicativo, que consideraron innovador y de gran utilidad al contexto Arequipeño.



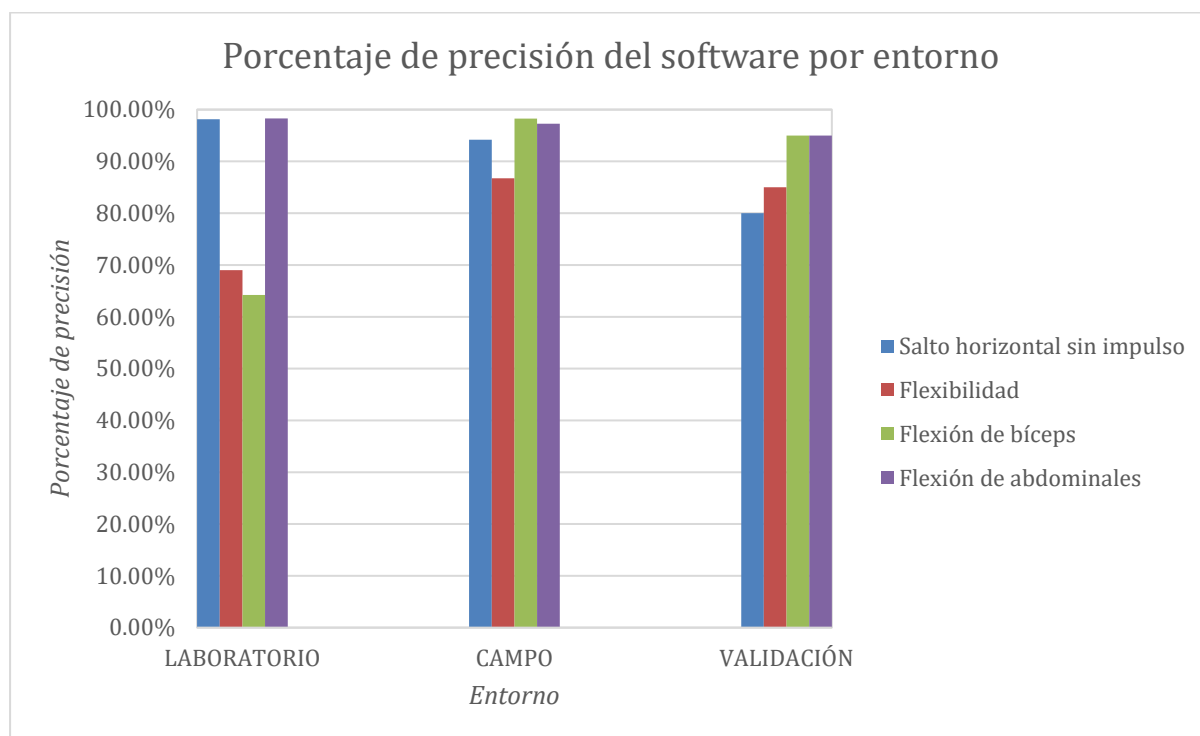
9.3. Validación Cuantitativa

Como parte de la validación cuantitativa, los profesores seleccionaron aleatoriamente a cinco estudiantes que participaron previamente en el estudio. Cada alumno fue evaluado por el profesor utilizando el aplicativo en las cuatro pruebas de aptitud física. De dichas pruebas, se observa un porcentaje de acierto en comparación a métodos de evaluación tradicionales mayor al 95% para la prueba de flexión de bíceps y de abdominales. Mientras que, para la prueba de flexibilidad, se obtuvo un porcentaje aproximado al 85%. Finalmente, la prueba de salto horizontal tuvo un porcentaje de acierto de 80%. Estos resultados se ajustan a lo observado con la versión de escritorio.

No obstante, la prueba de salto horizontal sufre una pérdida de precisión significativa. Esto se debe principalmente al uso de coordenadas 2D y el hecho de utilizar un factor de conversión específico a cierta resolución de video y distancia entre la cámara y el alumno. Durante las pruebas ejecutadas, los profesores de educación física no pudieron garantizar las distancias recomendadas del posicionamiento del alumno y la cámara. Adicionalmente, debido a la inestabilidad de sostener el celular con las manos, se generan ligeras alteraciones al ángulo focal. Ambos factores afectan negativamente a la precisión en pruebas de medición de distancias. Este fenómeno se debería solucionar al utilizar coordenadas 3D, puesto que no sería necesario un factor de conversión. Lamentablemente durante nuestra investigación no logramos obtener un nivel de precisión aceptable, mayor a un 80%, al utilizar coordenadas 3D. Este es un claro punto de mejora para futuras investigaciones si se quiere proporcionar mayor libertad al momento de utilizar esta aplicación o sistemas similares. Finalmente, destacamos el efecto negativo que puede generar la capacidad de procesamiento del celular utilizado para las pruebas, el cual solo cumplió con las especificaciones técnicas mínimas mencionadas previamente en este documento.

En la Figura 62 se puede observar una comparación de los porcentajes de precisión en los tres entornos definidos por cada prueba de aptitud física.

Figura 62. Precisión de software por entorno.



Se puede observar un gran nivel de similitud entre los porcentajes de precisión, siendo la caída de precisión máxima solo 10% entre la validación y los otros dos entornos. Esta constante precisión indica una implementación apropiada de lógica y metodología de evaluación. No obstante, se nota claramente una diferencia en precisión en medida de distancias utilizando coordenadas en 2D y 3D, reiterando que futuras investigaciones aborden este punto a mayor profundidad. Sin embargo, se logra concluir que, para el análisis de movimiento basado en ángulos de articulaciones, tanto coordenadas 2D como 3D pueden proporcionar resultados excepcionales. Dependiendo del ángulo focal de la prueba y la naturaleza del ejercicio se puede escoger un sistema sobre el otro, pero ambos deberían dar resultados similares y por ende pueden ser intercambiables a discreción.

Para las mediciones de distancias en salto horizontal, un entorno controlado y la utilización de coordenadas 3D presentan los mejores resultados. En el caso de la prueba de flexibilidad, la que tuvo el peor rendimiento en general, es necesario analizar la naturaleza del ejercicio y las capacidades de los algoritmos y hardware actual para determinar si este tipo de ejercicios pueden ser analizados con suficiente precisión o requieren un mayor desarrollo e investigación futura antes de poder ser analizados de manera práctica.

En el caso de la prueba de bíceps se recalca la gran precisión general obtenida, pero también el hecho de necesitar un mayor control de ángulo entre la persona evaluada y el sensor, además de la técnica de ejecución de la prueba para tener un mayor nivel de precisión al utilizar coordenadas 3D, debido a la facilidad de perder articulaciones de extremidades superiores observadas.

Finalmente, la prueba de abdominales obtiene una precisión excepcional, demostrando que, para análisis de movimientos sencillos, donde no se analizan extremidades que sean fácil de perder, el entorno y las coordenadas utilizadas no afectan significativamente. En estos casos la lógica de la prueba tiene el mayor impacto y son los tipos de pruebas más sencillos y confiables de implementar en ambientes reales.

DISCUSIÓN

Analizando los resultados obtenidos y contrastándolos con diferentes investigaciones como las de Wang & Chen (2021) y de Uhlár et al. (2021) se puede observar un porcentaje de acierto muy favorable. En dichas investigaciones se observa una tendencia de porcentaje de acierto mayor al 85%, en el caso de la investigación presentada se obtiene un porcentaje de acierto mayor al 90% en tres de las cuatro pruebas tomados para ambientes de campo y mayor al 90% en dos de las cuatro pruebas en ambiente de laboratorio, mientras que en la versión móvil se obtiene un porcentaje de acierto mayor al 85% en tres de las cuatro pruebas. Cabe recalcar que dichas investigaciones desarrollaron sus propios modelos de visión computacional y que la naturaleza de las pruebas afecta significativamente el porcentaje de precisión. Adicionalmente, en el caso de nuestra investigación se utilizaron las librerías de LightBuzz, lo cual facilitó el uso y desarrollo de algoritmos para la evaluación de aptitud física. Así también, el desarrollo ágil del software con modelos previamente desarrollados y validados, además de la naturaleza de las pruebas, permitieron que la investigación obtenga resultados comparables a investigaciones de mayor nivel. Sin embargo, la prueba de flexibilidad “Sit and Reach” obtiene el peor porcentaje de acierto, en promedio menor a 85%. Este último punto debe tomarse en cuenta al momento de evaluar esta investigación en comparación a otras investigaciones revisadas. Las recomendaciones para solucionar este nivel bajo de precisión se presentan en la sección de recomendaciones del presente documento y los motivos de la baja precisión se evaluaron en las secciones previas. Finalmente, lo presentado en esta investigación es una clara mejora a la investigación previa, Sulla-Torres et al. (2023), realizada por dos de los autores de esta investigación, puede ser revisado en el Anexo F.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un sistema multiplataforma, en escritorio con el sistema operativo Windows 10/11 y aplicativo móvil con el sistema operativo Android, que utilizan visión computacional como apoyo a la evaluación de aptitud física de escolares en la provincia de Arequipa, en base a una batería de cuatro pruebas de evaluación de aptitud física.
2. Se desarrolló la versión de escritorio del sistema de visión computacional, que permite la evaluación de aptitud física en escolares con un gran nivel de precisión para cada una de las pruebas, contando con 94.20% de precisión en la prueba de salto horizontal sin impulso, luego se obtuvo 86.74% de precisión en la prueba de flexibilidad, además de 98.26% de precisión en la prueba de flexión de bíceps, finalmente se obtuvo 97.28% de precisión en la prueba de flexión de abdominales.
3. Se logró recolectar y utilizar los datos de las evaluaciones realizadas para la generación de percentiles y puntos de corte sobre desempeño de estudiantes entre 8 y 19 años según su edad, género y prueba realizada. Para ello se evaluaron 284 escolares de la provincia de Arequipa. Donde tenemos que, un percentil alto sobre el 85% indica un rendimiento por encima de la mayoría de los alumnos en el grupo de referencia. Lo cual, indica que se puede categorizar como elevado rendimiento, entre el percentil 15% a 85% se categoriza como adecuado, y menor al percentil 15% se categoriza como aptitud física descendida. En base a esto, los alumnos que se evalúen a futuro, podrán ser categorizados en su estado de aptitud física.
4. Se desarrolló la versión de aplicativo móvil del sistema de visión computacional, que permite la evaluación de aptitud física con un gran nivel de usabilidad. Dicha versión tuvo un porcentaje de precisión general para todas las pruebas de aproximadamente 88.75%.

5. Se validó satisfactoriamente la propuesta mediante la utilización y aprobación del aplicativo móvil por los profesores de educación física en su práctica educativa. Estos resultados se encontraron utilizando el modelo ampliado MOSCA, donde se obtuvo un nivel de calidad “avanzado”, satisfaciendo las características de funcionalidad, usabilidad y fiabilidad.
6. Se complementó la validación de la propuesta por medio de los test de usuario. Donde se lograron detectar carencias en los aspectos de seguridad y navegabilidad. En cuestión de seguridad, se detectó la ausencia de un control de acceso a la aplicación por medio de un inicio de sesión. En cuestión de navegabilidad, se encontró la lentitud de navegación entre los campos de datos del alumno. Además de la preferencia por una navegación que permita continuar la evaluación de pruebas al mismo alumno. Por último, se percibió lentitud en la navegación de la interfaz de grabación de la prueba. Por ende, comparando los resultados del modelo MOSCA con los resultados de los test de usuario, podemos concluir que ambos identifican la satisfacción de los aspectos de funcionalidad y usabilidad. Mientras que el aspecto de fiabilidad solamente es satisfecho mediante MOSCA, puesto que no se encontraron datos al respecto en los test de usuario. Finalmente, el modelo MOSCA no evaluó problemas de seguridad y navegabilidad que con los test de usuario fueron identificados.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda profundizar esta línea de investigación desarrollando un algoritmo o entrenando una red neuronal convolucional para el reconocimiento de cuerpos en posiciones innaturales. Actualmente los algoritmos y modelos proporcionados por LightBuzz y el Azure Kinect SDK tienen dificultades reconociendo cuerpos en posiciones de estiramiento intenso, como fue el caso para la prueba de flexibilidad de “Sit and Reach”. Por ende, el desarrollo de modelos que correctamente infieran un cuerpo en posiciones innaturales permitiría ampliar el rango de posibles pruebas a ser evaluadas por sistemas de visión computacional.
2. Se recomienda la aplicación de análisis de movimiento y evaluación de capacidades físicas y motoras en entornos diferentes. En base a nuestro estado el arte se observa gran interés de aplicar dichos análisis y evaluaciones en ambientes de rehabilitación y deporte, pero se considera que dicho análisis puede servir como una señal clara de deterioro de capacidades cognitivas y motoras en adultos mayores o en jóvenes con ciertas discapacidades cognitivas o físicas. La aplicación en dichos ambientes se considera como investigaciones de gran utilidad para la sociedad y el bienestar de las personas.
3. Se recomienda profundizar en la temática de transformación de píxeles a metros. Este punto se observa en la necesidad de transformar píxeles a metros mientras se usan coordenadas 2D en la medición de distancias de un video. Aunque en esta investigación se logra encontrar un factor de conversión, podría profundizarse el por qué este factor funciona correctamente e inclusive verificar si es el factor más óptimo.

4. Finalmente, se recomienda el futuro desarrollo de una versión de esta aplicación con fines comerciales, para permitir que los colegios puedan realizar un seguimiento del estado de aptitud física de sus alumnos de una forma más eficiente y sostenible. Futuros proyectos con enfoques comerciales podrían generar gran valor para la sociedad de mejorar y proporcionar software similar con implementaciones de otros tipos de pruebas en diferentes contextos.



REFERENCIAS

- Adams, M. A., Phillips, C. B., Patel, A., & Middel, A. (2022). Training Computers to See the Built Environment Related to Physical Activity: Detection of Microscale Walkability Features Using Computer Vision. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8), 4548. <https://doi.org/10.3390/ijerph19084548>
- Akter, T., Zeba, Z., Hosen, I., Al-Mamun, F., & Mamun, M. A. (2022). Impact of the COVID-19 pandemic on BMI: Its changes in relation to socio-demographic and physical activity patterns based on a short period. *PLOS ONE*, 17(3), e0266024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266024>
- Al-Naji, A., & Chahl, J. (2017). Simultaneous Tracking of Cardiorespiratory Signals for Multiple Persons Using a Machine Vision System With Noise Artifact Removal. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 5, 1-10. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2017.2757485>
- Azure Kinect developer kit. (s. f.). *Buy the Azure Kinect developer kit – Microsoft*. Microsoft Store. Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <https://www.microsoft.com/en-us/d/azure-kinect-dk/8pp5vxmd9nhq>
- Azure Kinect DK. (2023, junio 1). *Especificaciones de hardware de Azure Kinect DK*. <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/kinect-dk/hardware-specification>
- Azure Kinect DK: Microsoft Azure*. (s. f.). Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <https://azure.microsoft.com/es-es/products/kinect-dk>
- Baca, A., Dabnichki, P., Hu, C.-W., Kornfeind, P., & Exel, J. (2022). Ubiquitous Computing in Sports and Physical Activity—Recent Trends and Developments. *Sensors*, 22(21), 8370. <https://doi.org/10.3390/s22218370>
- Body joints. (2023, junio 28). *LightBuzz*. <https://lightbuzz.com/docs/general-information/body-joints/>

- Body Tracking for iOS, Android, macOS, Windows, and Linux.* (s. f.). LightBuzz. Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <https://lightbuzz.com/>
- Canon EOS M50 Mark II, C. (s. f.). *Canon EOS M50 Mark II: Cámaras.* Canon Spain. Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <https://www.canon.es/cameras/eos-m50-mark-ii/>
- Carlson, J. A., Liu, B., Sallis, J. F., Hipp, J. A., Staggs, V. S., Kerr, J., Papa, A., Dean, K., & Vasconcelos, N. M. (2020). Automated High-Frequency Observations of Physical Activity Using Computer Vision. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(9), 2029-2036. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002341>
- Castro-Piñero, J., Ortega, F. B., Artero, E. G., Girela-Rejón, M. J., Mora, J., Sjöström, M., & Ruiz, J. R. (2010). Assessing muscular strength in youth: Usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1810-1817. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddb03d>
- Cossio-Bolaños, M. A., & Arruda, M. (2009). Propuesta de valores normativos para la evaluación de la aptitud física en niños de 6 a 12 años de Arequipa, Perú. *Revista Medica Herediana*, 20(4), 206-212.
- Daniels, N. F., Burrin, C., Chan, T., & Fusco, F. (2022). A Systematic Review of the Impact of the First Year of COVID-19 on Obesity Risk Factors: A Pandemic Fueling a Pandemic? *Current Developments in Nutrition*, 6(4), nzac011. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzac011>
- Debnath, Bappaditya, O'Brien, Mary, Yamaguchi, Motonori, & Behera, Ardhendu. (2022). A review of computer vision-based approaches for physical rehabilitation and assessment. *Multimedia Systems*, 209-239. <https://doi.org/10.1007/s00530-021-00815-4>
- Di Benedetto, M., Carrara, F., Ciampi, L., Falchi, F., Gennaro, C., & Amato, G. (2022). An embedded toolset for human activity monitoring in critical environments. *Expert Systems with Applications*, 199, 117125. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117125>

- Di Cesare, M., Sorić, M., Bovet, P., Miranda, J. J., Bhutta, Z., Stevens, G. A., Laxmaiah, A., Kengne, A.-P., & Bentham, J. (2019). The epidemiological burden of obesity in childhood: A worldwide epidemic requiring urgent action. *BMC Medicine*, 17(1), 212. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1449-8>
- Diaz-Antón, M., Pérez, M., Grimán, A., & Mendoza Morales, L. (2002). *Instrumento de Evaluación de software educativo bajo un enfoque sistémico*.
- Elkholy, A., Hussein, M. E., Gomaa, W., Damen, D., & Saba, E. (2020). Efficient and Robust Skeleton-Based Quality Assessment and Abnormality Detection in Human Action Performance. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(1), 280-291. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2904321>
- Espinoza, R. V., Antunez, I., Castillo, S., Gutiérrez, J., Acevedo, J., Arenas, G., Avendaño, E., González, G., Rodríguez, M., & Cossio-Bolaños, M. (2022). Práctica deportiva, Índice de masa corporal y aptitud física en mujeres adolescentes. *Revista Peruana de ciencia de la actividad física y del deporte*, 9(1), 8-8. <https://doi.org/10.53820/rpcafd.v9i1.195>
- Firestore | Google's Mobile and Web App Development Platform. (s. f.). Firestore. Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <https://firebase.google.com/>
- Francisco, J. A., & Rodrigues, P. S. (2022). Computer Vision Based on a Modular Neural Network for Automatic Assessment of Physical Therapy Rehabilitation Activities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 1-1. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3226459>
- GanttPRO. (2023). GanttPRO. <https://ganttpro.com/es/>
- Gonzalez-Franco, M., Egan, Z., Peachey, M., Antley, A., Randhavane, T., Panda, P., Zhang, Y., Wang, C. Y., Reilly, D. F., Peck, T. C., Won, A. S., Steed, A., & Ofek, E. (2020). MoveBox: Democratizing MoCap for the Microsoft Rocketbox Avatar Library. 2020

- IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 91-98. <https://doi.org/10.1109/AIVR50618.2020.00026>
- Hörak. (2019). Computer Vision-Based Unobtrusive Physical Activity Monitoring in School by Room-Level Physical Activity Estimation: A Method Proposition. *Information*, 10(9), 269. <https://doi.org/10.3390/info10090269>
- Horak, H., Jermakovs, K., & Haamer, R. E. (2022). Modeling Physical Activity in Children by Combining Raw Hip-Worn Accelerometry, 2D Pose Estimation, and Direct Observation. *IEEE Access*, 10, 39986-40000. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3160474>
- Host, K., & Ivašić-Kos, M. (2022). An overview of Human Action Recognition in sports based on Computer Vision. *Heliyon*, 8(6), e09633. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09633>
- IBM Documentation*. (2021, agosto 17). <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=guide-introduction-crisp-dm>
- Ivorra, E., Ortega, M., Alcaniz, M., & Institute for Research and Innovation in Bioengineering, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, Spain. (2021). AZURE KINECT BODY TRACKING UNDER REVIEW FOR THE SPECIFIC CASE OF UPPER LIMB EXERCISES. *MM Science Journal*, 2021(2), 4333-4341. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_6_2021012
- Khanal, S. R., Paulino, D., Sampaio, J., Barroso, J., Reis, A., & Filipe, V. (2022). A Review on Computer Vision Technology for Physical Exercise Monitoring. *Algorithms*, 15(12), 444. <https://doi.org/10.3390/a15120444>
- Khanal, S. R., Sampaio, J., Exel, J., Barroso, J., & Filipe, V. (2022). Using Computer Vision to Track Facial Color Changes and Predict Heart Rate. *Journal of Imaging*, 8(9), 245. <https://doi.org/10.3390/jimaging8090245>

- Klette, R. (2014). *Concise Computer Vision: An Introduction into Theory and Algorithms*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6320-6>
- Kostek, M. T., & Knortz, K. (1980). Kinesiology Corner: The Bicep Curl and the Reverse Bicep Curl. *Strength & Conditioning Journal*, 2(6), 55.
- Kramer, J. B., Sabalka, L., Rush, B., Jones, K., & Nolte, T. (2020). Automated Depth Video Monitoring For Fall Reduction: A Case Study. *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 1188-1196. <https://doi.org/10.1109/CVPRW50498.2020.00155>
- Lee, S., Yoo, J., Park, M., Kim, J., & Kwon, S. (2021). Robust Extrinsic Calibration of Multiple RGB-D Cameras with Body Tracking and Feature Matching. *Sensors*, 21(3), 1013. <https://doi.org/10.3390/s21031013>
- LightBuzz Academic. (s. f.). *LightBuzz*. Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <https://lightbuzz.com/pricing/>
- Martinez-Martin, E., Costa, A., & Cazorla, M. (2019). PHAROS 2.0—A PHysical Assistant Robot System Improved. *Sensors*, 19(20), 4531. <https://doi.org/10.3390/s19204531>
- Mau-Tsuen Yang & Wan-Che Liao. (2014). Computer-Assisted Culture Learning in an Online Augmented Reality Environment Based on Free-Hand Gesture Interaction. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(2), 107-117. <https://doi.org/10.1109/TLT.2014.2307297>
- Mondal, R., Mukherjee, D., Singh, P. K., Bhateja, V., & Sarkar, R. (2021). A New Framework for Smartphone Sensor-Based Human Activity Recognition Using Graph Neural Network. *IEEE Sensors Journal*, 21(10), 11461-11468. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3015726>

- Moreno, A., Poppe, R., Gibson, J. L., & Heylen, D. (2019). Automated and unobtrusive measurement of physical activity in an interactive playground. *International Journal of Human-Computer Studies*, 129, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.03.010>
- Needham, L., Evans, M., Cosker, D. P., & Colyer, S. L. (2021). Can Markerless Pose Estimation Algorithms Estimate 3D Mass Centre Positions and Velocities during Linear Sprinting Activities? *Sensors*, 21(8), 2889. <https://doi.org/10.3390/s21082889>
- Nielsen, J., & Landauer, T. K. (1993). A mathematical model of the finding of usability problems. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '93, 206-213. <https://doi.org/10.1145/169059.169166>
- Pangrazi, R. P., & Hastad, D. N. (1989). *Physical Fitness in the Elementary Schools* (2. Ausg). AAHPERD.
- Pezoa-Fuentes, P., Vidal-Espinoza, R., Urra-Albornoz, C., Luarte-Rocha, C., Cossio-Bolaños, M., Marques de Moraes, A., Lázari, E., Gómez-Campos, R., Pezoa-Fuentes, P., Vidal-Espinoza, R., Urra-Albornoz, C., Luarte-Rocha, C., Cossio-Bolaños, M., Marques de Moraes, A., Lázari, E., & Gómez-Campos, R. (2022). Aptitud física en niños y adolescentes categorizados por nivel de masa grasa. *Andes pediátrica*, 93(4), 477-487. <https://doi.org/10.32641/andespediatr.v93i4.3906>
- Pterneas, V. (2022). *Mastering the Microsoft Kinect: Body Tracking, Object Detection, and the Azure Cloud Services*.
- Restrepo, B. J. (2022). Obesity Prevalence Among U.S. Adults During the COVID-19 Pandemic. *American Journal of Preventive Medicine*, 63(1), 102-106. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2022.01.012>
- Romeo, L., Marani, R., Perri, A. G., & D'Orazio, T. (2022). Microsoft Azure Kinect Calibration for Three-Dimensional Dense Point Clouds and Reliable Skeletons. *Sensors*, 22(13), 4986. <https://doi.org/10.3390/s22134986>

- Shamsee, N., Klebanov, D., Fayed, H., Afrose, A., & Karakok, O. (2015). *CCNA Data Center DCICT 640-916 Official Cert Guide*.
- Sulla-Torres, J., Pamo, B. A. S., & Rodríguez, F. J. C. (2023). Evaluation of Physical Activity by Computer Vision Using Azure Kinect in University Students. *2023 3rd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICECCME57830.2023.10253287>
- tesych. (2023, julio 31). *Acerca de Azure Kinect DK*. <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/kinect-dk/about-azure-kinect-dk>
- Uhlár, Á., Ambrus, M., Kékesi, M., Fodor, E., Grand, L., Szathmáry, G., Rácz, K., & Lacza, Z. (2021). Kinect Azure–Based Accurate Measurement of Dynamic Valgus Position of the Knee—A Corrigible Predisposing Factor of Osteoarthritis. *Applied Sciences*, *11*(12), 5536. <https://doi.org/10.3390/app11125536>
- Wang, L., & Chen, S. (2021). Student Physical Fitness Test System and Test Data Analysis System Based on Computer Vision. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2021*, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/5589065>
- Wells, K. F., & Dillon, E. K. (1952). The Sit and Reach—A Test of Back and Leg Flexibility. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, *23*(1), 115-118. <https://doi.org/10.1080/10671188.1952.10761965>
- XCharts. (s. f.). Recuperado 16 de noviembre de 2023, de <http://XCharts-Team.github.io/docs/>
- Xie, M. (2021). Design of a physical education training system based on an intelligent vision. *Computer Applications in Engineering Education*, *29*(3), 590-602. <https://doi.org/10.1002/cae.22259>
- Xing, Q.-J., Shen, Y.-Y., Cao, R., Zong, S.-X., Zhao, S.-X., & Shen, Y.-F. (2022). Functional movement screen dataset collected with two Azure Kinect depth sensors. *Scientific Data*, *9*(1), 104. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01188-7>

Xu, B., Li, W., Liu, D., Zhang, K., Miao, M., Xu, G., & Song, A. (2022). Continuous Hybrid BCI Control for Robotic Arm Using Noninvasive Electroencephalogram, Computer Vision, and Eye Tracking. *Mathematics*, 10(4), 618.
<https://doi.org/10.3390/math10040618>

Zaki Zadeh, M., Ramesh Babu, A., Jaiswal, A., & Makedon, F. (2022). Self-Supervised Human Activity Representation for Embodied Cognition Assessment. *Technologies*, 10(1), 33.
<https://doi.org/10.3390/technologies10010033>

Zhu, D., Zhang, H., Sun, Y., & Qi, H. (2021). Injury Risk Prediction of Aerobics Athletes Based on Big Data and Computer Vision. *Scientific Programming*, 2021, 1-10.
<https://doi.org/10.1155/2021/5526971>

ANEXOS

A. Cuestionario Propuesto

El cuestionario se evaluó a través de Google Forms. Además, las respuestas registradas se pueden visualizar en el siguiente enlace (Ver respuestas).

Funcionalidad:

1. ¿Se puede buscar a un estudiante correctamente?
2. ¿Se puede visualizar la técnica de ejecución de la prueba?
3. ¿Se pueden revisar los percentiles de rendimiento después de realizada la prueba?
4. ¿Se pueden visualizar los resultados de la prueba realizada por el alumno?
5. ¿Se puede registrar un estudiante correctamente?
6. ¿Se puede evaluar a un estudiante en cada prueba de aptitud física definida? (Salto horizontal sin pulso, Flexiones de bíceps, Flexibilidad y Flexiones de abdominales).
7. ¿Se pueden registrar los resultados de la prueba evaluada correctamente?
8. ¿Considera que la precisión de la aplicación para evaluar las pruebas es suficientemente precisa?

Usabilidad:

9. ¿En general le resultó fácil el uso del aplicativo?
10. ¿Considera que el aplicativo es lo suficientemente interactivo mientras navega en sus diferentes interfaces?
11. ¿Es fácil identificar el objetivo de cada opción?
12. ¿Considera que el contenido del aplicativo es preciso y claro?
13. ¿Considera que el aplicativo es lo suficientemente intuitivo?
14. ¿La información en las pantallas le resulta suficiente?
15. ¿La gama de colores y distribución de elementos en la pantalla le resultaron agradables?

16. ¿La demostración de la técnica del ejercicio mediante un video le pareció adecuada?
17. ¿El aplicativo le permite actualizar o corregir los datos del alumno?
18. ¿El aplicativo le permite navegar entre las diferentes interfaces con rapidez y total libertad?
19. ¿Las imágenes y gráficos utilizados ayudaron a tener una mejor comprensión?
20. ¿La lectura en las interfaces fue de relevancia y resultó cómoda?
21. ¿La grabación de las pruebas se realizó correctamente?
22. ¿La interfaz de grabación de las pruebas le parece interactiva y amigable de acuerdo al tipo de prueba que se está grabando?
23. ¿La adaptación del aplicativo a tus necesidades cuando necesitas medir la aptitud física de tus estudiantes fue adecuado?

Fiabilidad:

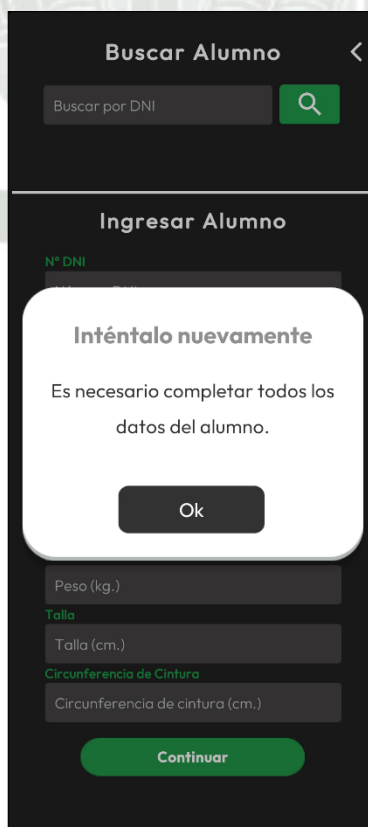
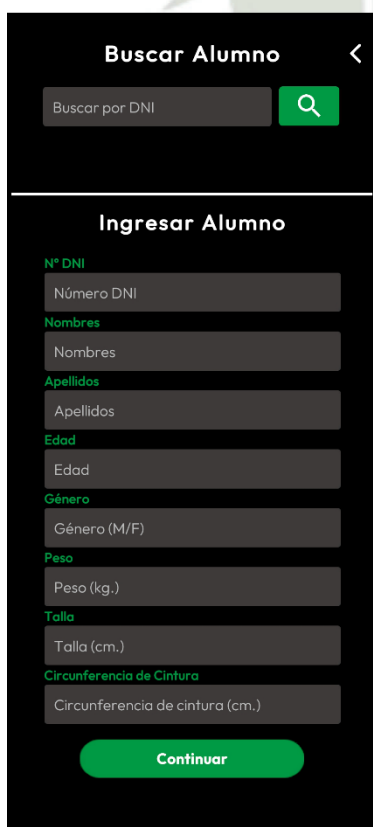
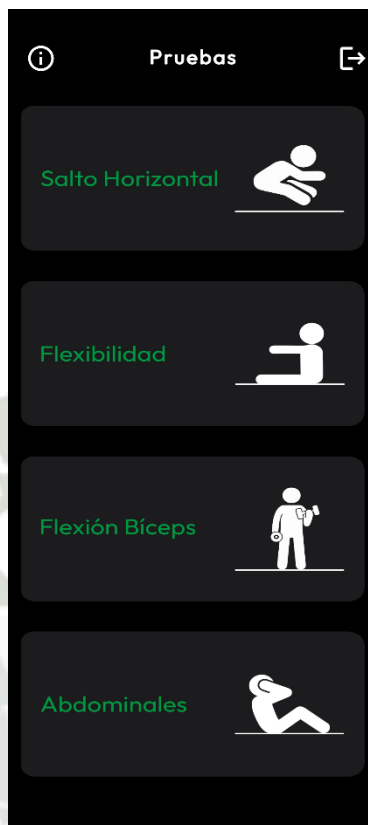
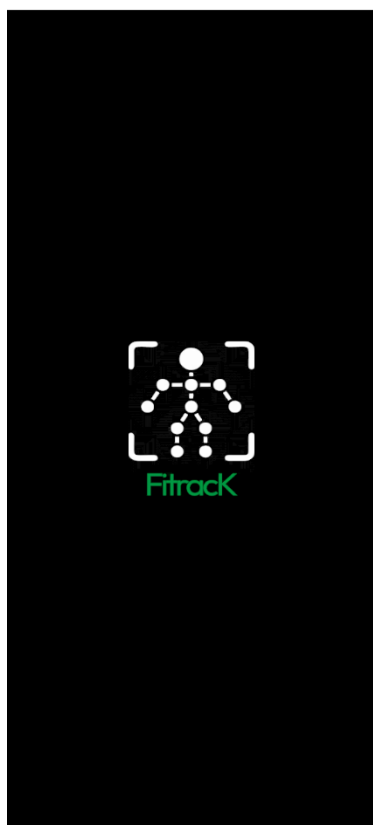
24. ¿La búsqueda de alumnos es rápida?
25. ¿El aplicativo se adapta a diferentes tipos de estudiantes en el rango de edad (9 a 18 años)?
26. ¿Existen validaciones al ingresar datos del alumno?
27. ¿Surgió algún error que lo obligó a detener el uso del aplicativo?

Preguntas abiertas:

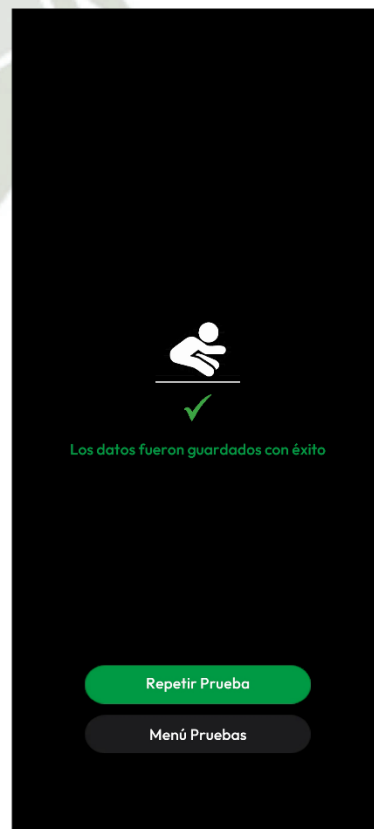
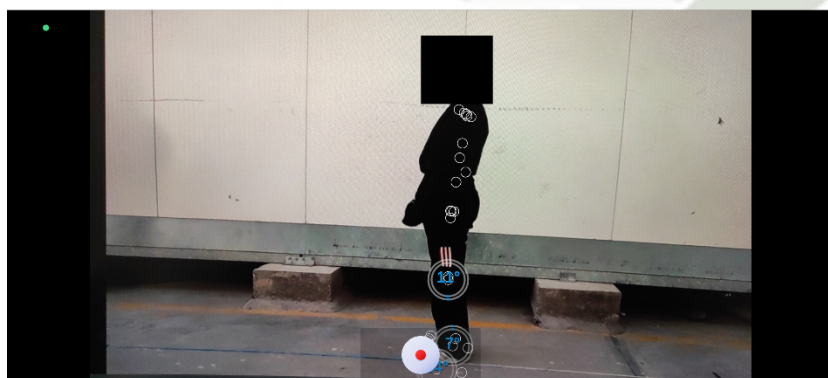
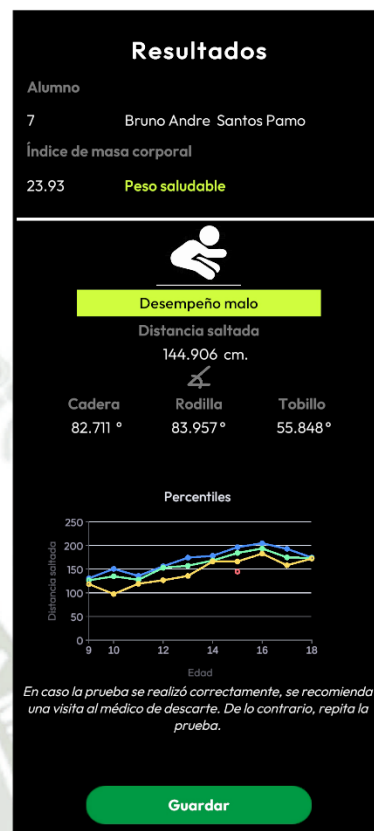
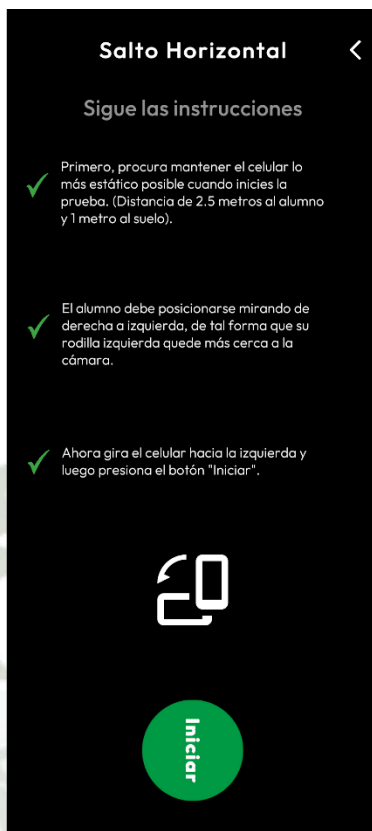
28. ¿Estaría dispuesto a utilizar este aplicativo en su práctica educativa?
29. ¿Tiene algún comentario adicional o sugerencia para mejorar el aplicativo?

B. Capturas de Interfaces del Prototipo

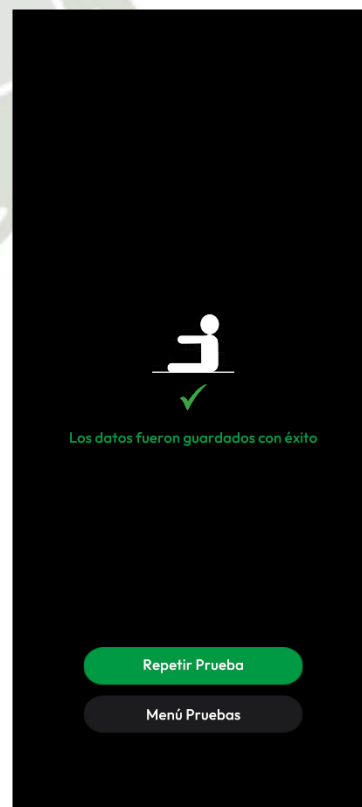
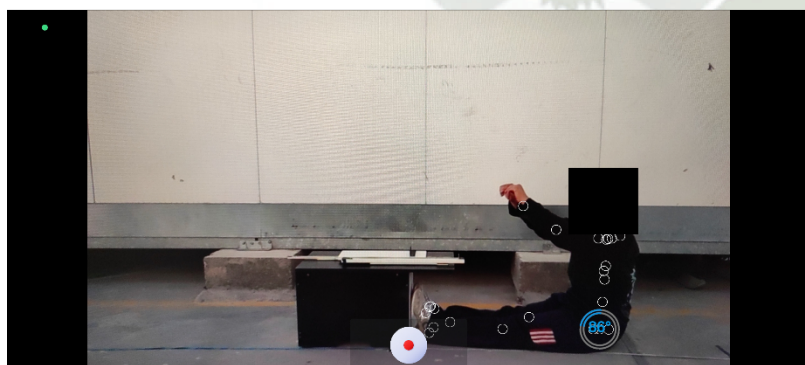
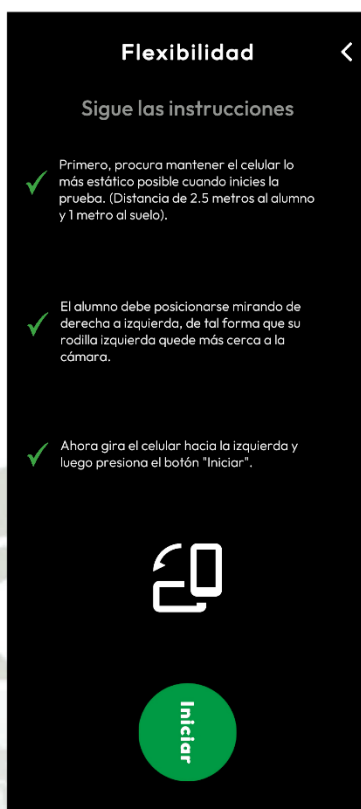
B.1. Capturas de Interfaces “Core” del prototipo.



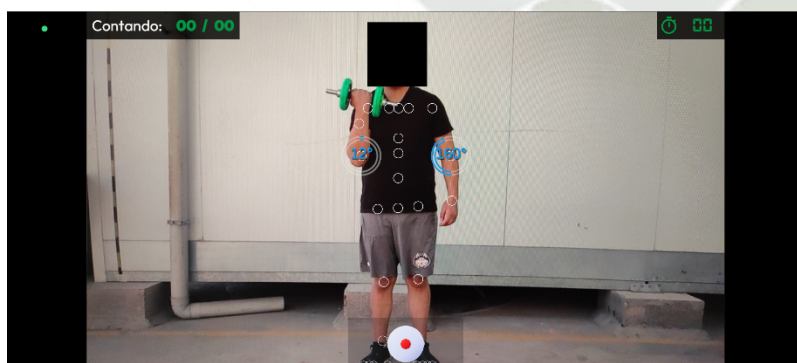
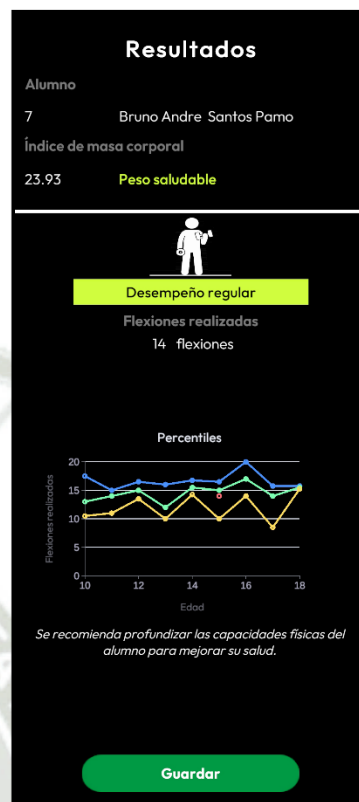
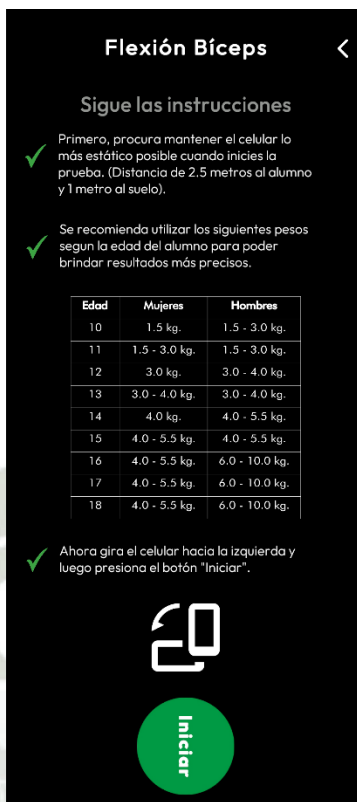
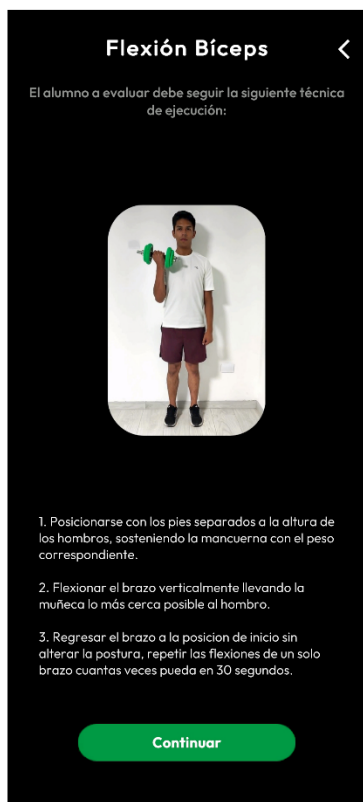
B.2. Capturas de interfaces de la prueba de salto horizontal sin impulso.



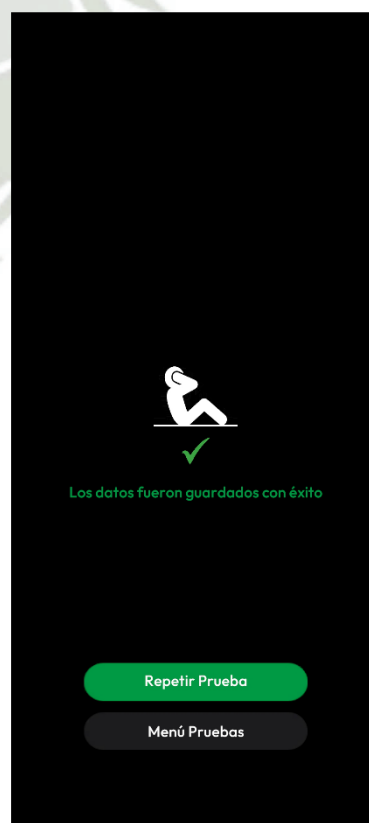
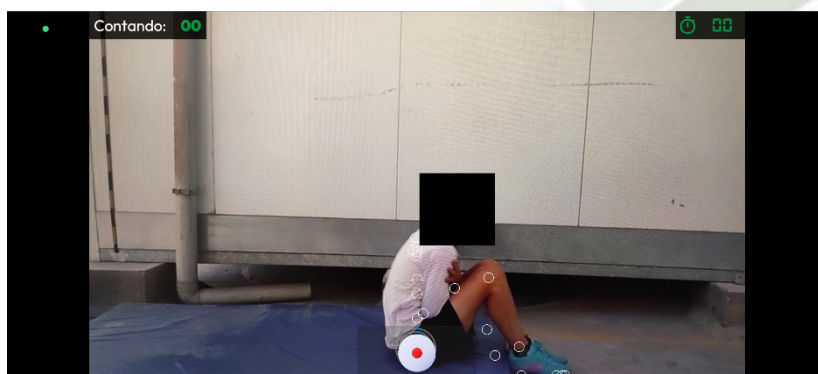
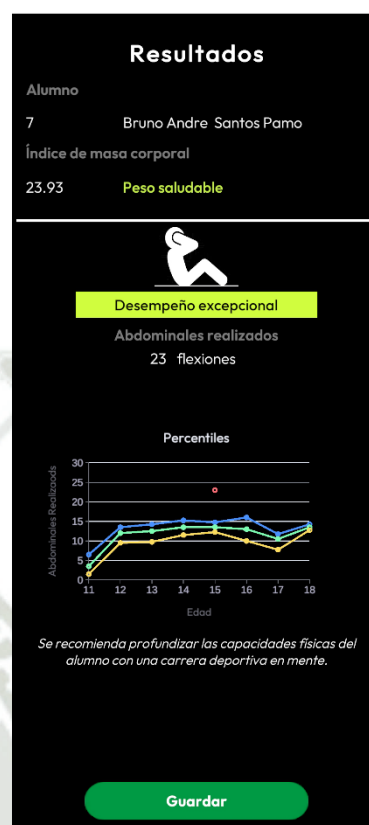
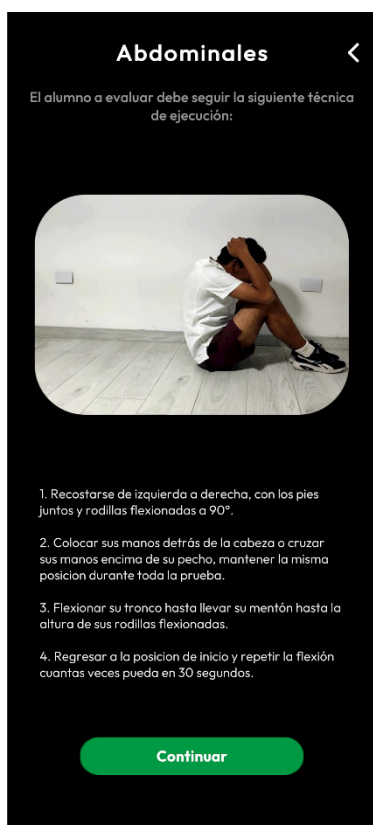
B.3. Capturas de interfaces de la prueba de flexibilidad.



B.4. Capturas de interfaces de la prueba de flexión de bíceps.



B.5. Capturas de interfaces de la prueba de abdominales.



C. Dispositivos Móviles Compatibles

Los dispositivos móviles compatibles se encuentran limitados por la librería de seguimiento del cuerpo utilizada en el aplicativo, es por ello que recomendamos el uso de los dispositivos que se encuentran en el listado de su página oficial, disponible en el siguiente enlace (*Página oficial de LightBuzz con dispositivos compatibles*). Además, es estrictamente necesario que mínimamente el dispositivo elegido esté ejecutando un sistema operativo Android 10. La versión del aplicativo para sistema IOS, no se encuentra en el alcance de este proyecto.



D. Estándares

- ISO/IEC 9126:

Estándar cuyo objetivo es la medición más objetiva posible del nivel de desempeño de un software durante su desarrollo e implementación. Busca eliminar medidas subjetivas que puedan alterar la evaluación del software.

- ISO/IEC 9241-11:

Estándar que guía los esfuerzos de medición y mejora de usabilidad de un software en un ambiente específico.

- ISO/IEC 12207:

Estándar guía para el desarrollo de ciclos de vida de productos software, incluye el desarrollo y mantenimiento necesarios para un sistema de software específico.

E. Glosario

- **C#:** Es un lenguaje de programación multiparadigma derivado del lenguaje C/C++. Inicialmente desarrollado y estandarizado por Microsoft. Aprobado como estándar por ECMA e ISO. Actualmente es el lenguaje base para las aplicaciones desarrolladas en el motor de videojuegos Unity.
- **Unity:** Motor de videojuego multiplataforma disponible en Windows, Mac OS y Linux. Incluye la edición 3D y 2D, facilitando la integración entre scripts y recursos de desarrollo.
- **Visual Studio:** Entorno de desarrollo integrado multilenguaje. Es el entorno de desarrollo por defecto del editor 3D de Unity. Facilita la escritura, compilación y análisis de código.
- **Script:** Es un conjunto de líneas de código que determinan un comportamiento. Principalmente utilizado para manipular, utilizar o automatizar el comportamiento de ciertos recursos informáticos. Es la manera por defecto de integrar comportamiento e interactividad a los objetos y recursos a ser utilizados en un proyecto de Unity.
- **Funcionalidad (FUN):** Es la característica del software que asegura que se cumplan con necesidades específicas o implícitas, cuando el software es utilizado bajo ciertas condiciones.
- **Usabilidad (USA):** Esta característica se refiere a la medida en que un software puede ser entendido, atractivo, aprendido y utilizado por el usuario bajo condiciones específicas.
- **Fiabilidad (FIA):** La fiabilidad es la característica del software para conservar un nivel específico de rendimiento cuando es utilizado bajo condiciones específicas.

F. Artículo Publicado en IEEE Xplore

El artículo fue publicado en “2023 3rd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering” (ICECCME). Esta conferencia fue realizada del 19-20 Julio 2023, Tenerife, Islas Canarias, España.

La investigación presentada se encuentra indexada en la IEEE Xplore, y puede ser visualizado con el siguiente enlace (Ver publicación). Así también, puede ser revisada en la siguiente página.



Evaluation of Physical Activity by Computer Vision Using Azure Kinect in University Students

Jose Sulla-Torres
Professional School of Systems Engineering
Universidad Católica de Santa María
Arequipa, Perú
jsullato@ucsm.edu.pe

Bruno Andre Santos Pamo
Professional School of Systems Engineering
Universidad Católica de Santa María
Arequipa, Perú
72522367@ucsm.edu.pe

Fabrizio Jorge Cárdenas Rodríguez
Professional School of Systems Engineering
Universidad Católica de Santa María
Arequipa, Perú
70674383@ucsm.edu.pe

Abstract— Due to the pandemic, an increase in obesity could be observed due to the sedentary life that university students had. Overall, this is a worrying trend, particularly the rising rates of obesity in young people and their lack of physical activity. The paper aims to evaluate university students' physical activity through a computer vision prototype using Azure Kinect. This has made it possible to establish a baseline for the physical activity of young university students. For this, 50 university students from a university in Arequipa-Peru were evaluated. Two tests were carried out, one of jump height and another of bicep curl. As a result, the percentiles of the tests performed were obtained, and the prototype was developed that evaluated efficiently the correlation coefficients vertical jump test for the hip angle-Distance, it was 0.50 moderately. The Knee Angle-Distance was 0.38, considered weak; in terms of the correlation coefficients bicep curl test for the Maximum angle of flexion- Repetitions was -0.16, very weak, and for the Maximum angle of extension- Repetitions, it was -0.06, considered very weak. In conclusion, it was possible to indicate that using the computer vision prototype using Azure Kinect allows for obtaining results that specialists can use to determine the physical condition more efficiently for university students.

Keywords—Computer Vision, Physical Fitness, Physical Activity, University Students, Azure Kinect.

I. INTRODUCTION

Due to the approximately two years spent mostly indoors because of the pandemic, a rise in the rate of obesity can be observed [1] [2] [3] [4]. This is a worrisome trend, particularly the rise in obesity rates in children and young adults. However, tackling a problem such as a rise in obesity worldwide, or even region-wise, is much too big of a hurdle. In the region of Arequipa, there is currently a grave absence of said data, especially for university students. Nonetheless, we can begin to help deal with this issue by providing appropriate data about physical aptitude or physical fitness.

We can identify two main reasons for this lack of data and information, the first is a lack of programs and incentives to collect and research said data. Currently, the government is not rewarding research on this topic in the region or incentivizing said research in any meaningful way. This leads to a lack of a baseline of physical fitness that can be used as a benchmark in future measurements and projects. Then there is the issue of how

to measure physical fitness objectively. Traditional methods of evaluation of physical fitness tend to rely on the experience of the physical education teacher, and they also tend to be less reliable and troublesome to reproduce.

By using computer vision, a higher level of precision and objectivity can be guaranteed than traditional methods. For this reason, this research intends to develop a prototype of a cross-platform system that uses computer vision to help measure fitness using Azure Kinect. With such a developed system, a baseline of students' physical activity can be studied, thus providing vital information for future projects. With the data collected, it can be used to generate percentiles and the physical activity baseline of university students from the city of Arequipa-Peru, and then import the computer vision system into an application so that specialists can use it in your future evaluations and daily activities.

This document thus presents a review of the related literature used as a basis for research, the methodology used in the development of the prototype, and the measurements taken from the tests and physical characteristics of university students from the city of Arequipa-Peru, analysis and discussion of the results and an overview of future work to be done.

II. RELATED LITERATURE

To adequately review the literature, we must limit the scope of the review. In doing so, we chose two central scientific databases throughout the research, the first being the Web of Science due to its substantial number of peer-reviewed articles and its breadth of topics. The second was IEEE Xplore, a more specialized database in our field. We limit the search to articles published in the last five years and with public access. The most relevant of these articles for our research are presented below.

Computer vision is differentiated by methods and approaches that change their application in different contexts. As is the case for the research of Debnath et al. [5] where they manage to categorize them as pose estimation, human-pose interaction, activity and gesture recognition, and human tracking. However, it should be noted that these are general categorizations, and there is research that does not fit neatly into those categories. The authors emphasize the lack of studies by the scientific community in carrying out a comparative analysis of human tracking; The comparative analysis proposed in this

study can serve as a basis for comparing monitoring data for the export of more accurate results in our study.

Regarding environments where aerobic activity or exercise is carried out, Zhu et al. [6] use a computer vision system, using networks convolutional neural networks together with Big Data techniques to develop a system for detecting the risk of injury during specific aerobic exercises. The use of computer vision systems in sports environments is a trend that we will see more often in the literature since it applies very easily to our project and can be a practical methodological or technical guide.

Research on body tracking applications that quantitatively measure physical activity performed by a person is a trending topic in the scientific community. These applications can be seen in environments such as daily life or locations dedicated to physical activity, such as gyms or sports performance centers. Adams et al. [7] show in their research that athletes receive better feedback using non-contact monitoring devices than traditional methods. Additional use of video analysis using machine learning algorithms can provide even more helpful information. Khanal et al. [8] show that an estimation of the efficiency of doing specific exercises can be obtained through video analysis. These studies show us that our study should have no technological limitations and can be used as a methodological guide.

Monitoring physical activity has as one of its indicators the intensity with which a person performs a specific activity. To capture this data, traditionally, accelerometers are used. However, studies such as the one by Horak et al. [9] show that it is possible to complement and even replace this instrument with computer vision, using the OpenPose body tracking library and video frames at 10FPS, for the extraction of data from each person's hip angles when doing moderate activities.

In body tracking using advanced depth sensors such as the Kinect V2 device, research has been carried out to benefit vulnerable people as a prevention method in certain situations. Such is the case of the research proposed by Elkholy et al. [10], who consider that older adults could have a more independent life by detecting abnormalities in their daily movements, such as sitting, standing, walking right, and going upstairs. A linear regression model was trained, succeeding in the experimental results.

However, this does not indicate that research can only be done with specialized equipment such as the Kinect DK. Mondal et al. [11] demonstrate this with their research using cell phones, smartphones, and graphic neural network sensors to recognize human activities. It should be noted that this work is validated only with databases and simulations. However, the results are validated through analysis and discussions, demonstrating that using participants and specialized equipment is unnecessary to use computer vision to recognize human activities.

To better understand the possible applications of the analysis of human physical activities through computer vision, we can observe the work of Zaki Zadeh et al. [12], where through a semi-automated computer vision system, a test of exercises and actions they manage to estimate cognitive abilities. This research can serve as model research for our project. However, being older adults with more specialized equipment, the

development context is sufficiently different to warrant future research and our research.

Based on what was reviewed, we found a strong trend toward developing and researching the use of computer vision to support decision-making and sports analysis. Baca et al. [13] and Host & Ivašić-Kos [14] demonstrate this point in their research, where they analyze, discuss, and present the most common trends and objectives investigated concerning computer vision and sports. Their research shows that using computer vision systems to support or even replace traditional sports and exercise assessments has incredible potential.

In a student context, monitoring students' physical activity becomes a challenge due to the large amount of data that needs to be captured. According to [15], the global pandemic has significantly affected the physical health of children and adolescents, causing a more sedentary lifestyle, which is why, with the return to face-to-face classes, childhood obesity can be seen more often. The work carried out by the author highlights the importance of monitoring children's physical activity in a non-intrusive way, that is, using specialized cameras supported by artificial intelligence algorithms, as opposed to other intrusive methods such as accessories. Wearables or even subjective measurements, such as the observation method of Physical Education teachers, alter the data quality, not necessarily because of the disadvantages these proposals offer in their application but also because of the infantile nature of the students in carrying out physical activities. On the other hand, it is believed that there is a relationship between the improvement of physical activity and the space available for carrying it out. However, there is insufficient evidence to ensure this. Otherwise, due to the increase in the use of smartphones from an exceedingly early age, there are enough positive results regarding the use of neurochemical reward mechanisms in the video game industry to improve physical health in students. All this data is relevant to consider in our research.

III. METHODOLOGY

A descriptive, cross-sectional study was carried out. For the methodology used, the following steps were followed as shown in Fig. 1:

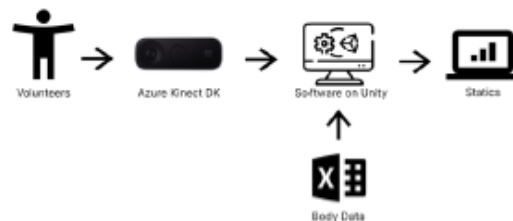


Fig. 1. Steps used in the study.

A. Participants

The participants were systems engineering students from a university in the city of Arequipa-Peru were evaluated. The volunteers, with their consent, were measured and tested using the two tests. The population of students between 17 and 22 years old was 498, a non-probabilistic type of sample of students $N=50$ was selected, as shown in Table I.

TABLE I DISTRIBUTION OF PARTICIPANTS BY GENDER AND AGE

Distribution of Participants			
Genre	Average Age	Quantity	Total
Male	19.88	42	50
Female	18.13	8	

B. Environment

The tests were done in a laboratory environment. The Azure Kinect DK was positioned 1.6m from the students. Before the tests, we gathered data from the students: their height, weight, age, sex, and waist circumference, all measured in the metric system. After this, an example of the test is shown to the students, who then proceed to do the tests. Fig. 2. shows the correct operation of all sensors in the Azure Kinect Viewer.



Fig. 2. View from Azure Kinect Viewer.

C. Azure Kinect Configuration

The Azure Kinect DK was used for the test; it was configured to recognize one body, using 30 frames per second at a resolution of 1080p, using color format MJPG, with a depth mode of NFOV_Unbinned and with synchronized images only. The processor was set to the GPU, and to be more precise with the measurements, the `dnn_model_2_0_op11.onnx` was used instead of the lite version. Only live footage was used for the tests in this project stage.

D. Software Development

For the software, the unity 3D editor was used. Due to compatibility issues, we used the 2020.3.45f version of Unity along with Visual Studio 2019. Our workstation was a desktop computer using Windows 10 with an NVIDIA 1060 graphics card. For the body tracking software and Kinect sensors, we used the Azure Kinect SDK v1.4.1 and the Azure Kinect Body Tracking SDK v1.1.2; we then proceeded to code the tests using C# and the Unity Editor. Each test is set to be a Scene in a Unity Project. To facilitate the understanding of the data being collected, we represent each student as a 3D body in Unity; said body consists of 62 elements, 31 cubes each representing a joint of the body that the Azure Kinect Body Tracking SDK can recognize, and 31 lines connecting each joint to the closest corresponding joint, these represent bones. An image of said 3D body is shown in Fig. 3.

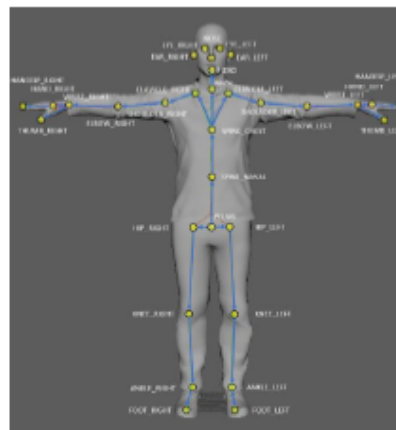


Fig. 3. Points and joints recognized by Azure Kinect.

E. Physical Tests

The first test is a bicep curl counter; we give the students a dumbbell that weighs 6 kg. for male students and 4 kg for female students. They only do as many bicep curls as possible within thirty seconds with their left arm. The elbow angle must be less than 45 degrees for a curl to count. We count the repetitions with the system implemented using the Azure Kinect, visualizing the data on Unity. Also, there is a manual counter for assurance and control of the data. Finally, we capture the maximum angle of flexion and extension obtained while they perform the test. Fig. 4 shows body tracking on Unity while the bicep curl test is running.

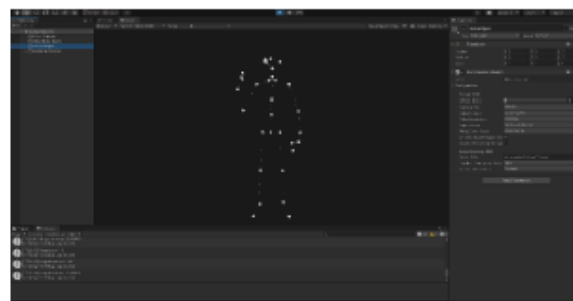


Fig. 4. View of body tracking on Unity while the bicep curl test is running.

The second test is a vertical maximum jump test. The students stand with a shoulder with the distance between their feet, then jump as high as possible. They have two chances to jump as high as possible; we then measure the distance, hip, and knee flexion. Fig. 5 shows the body tracking on Unity while the jump test is running.

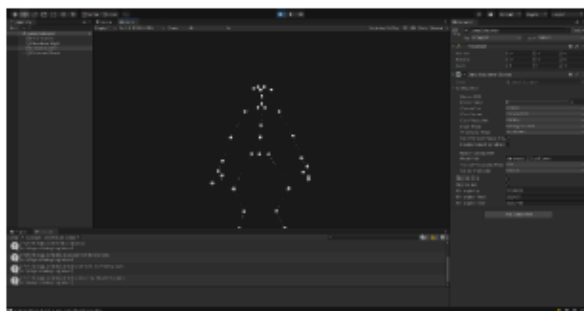


Fig. 5. View of body tracking on Unity while the jump test is running.

F. Data collection

For the data collection, the volunteers are evaluated with measurements of their anthropometric characteristics, such as height, weight, and waist circumference, in addition to other data, such as age and sex. Once said data is obtained, they are given an explanation and demonstration of the two tests they must execute. Subsequently, it is verified that the distance between the volunteer and the Azure Kinect sensors is met to perform a calibration movement, and the corresponding test can be considered started. Both the data captured by the sensors and the data on the physical conditions of the volunteer are grouped and stored to later go through cleaning, visualization, and analysis.

On average, the students have nonathletic characteristics, noting that none participate in any sport or athletic activity regularly. They also did not report suffering any recent or lasting injuries in either their elbows, hips, or knees which could impact their performance on the tests. The average volunteer age is 19 years, with a maximum age of 25 and a minimum of 17. This is because most volunteers were first-year students or second year students. Their average weight is 70 Kg, ranging from 49 to 115 Kg, with a standard deviation of 13.45 Kg. Their average height is 1.69 m, ranging from 1.57 m. to 1.84 m. in height with a standard deviation of 0.07 m. Their average BMI was 24.5 ranging from 16.8 to 34.6 with a standard deviation of 4.45 and their average waist circumference was 85.9 cm, ranging from 59 to 118 cm, with a standard deviation of 12.49 cm.

After all the data was collected, the data was cleaned of outliers and formatted in an easier way to analyze. In Fig 6, the trends and patterns of Body Mass Index (BMI) are shown.

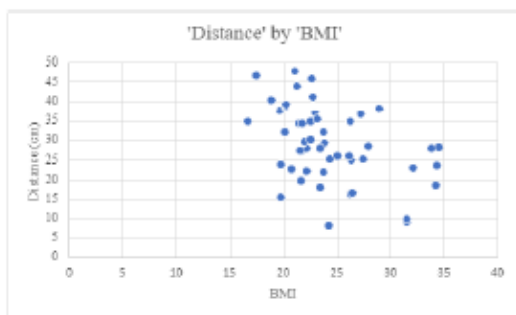


Fig. 6. Chart of Distance by BMI.

Fig. 7 shows the Distance by Waist Circumference and BMI ratio.

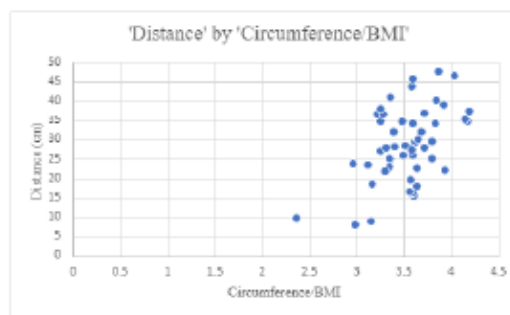


Fig. 7. Chart of Distance by Waist Circumference and BMI ratio.

Fig. 8 shows the distance by the hip angle of the students.

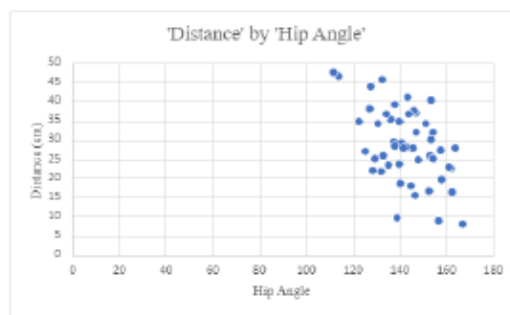


Fig. 8. Chart of Distance by Hip Angle.

Fig. 9 shows the data from Bicep Curl Test.

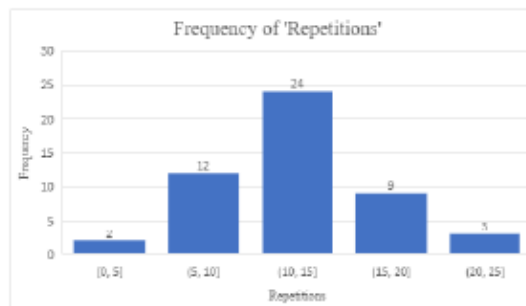


Fig. 9. Chart of frequency of repetitions from bicep-curl test.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The LMS method generated percentiles (p15, p50, and p85) smoothed and can be seen in Table II.

TABLE II DISTRIBUTION OF SCALE PERCENTILES FOR BICEP CURL AND VERTICAL JUMP TEST

Age	P15	P50	P85
<i>Bicep Curls</i>			
17	8.2	14	15
18	12	14.5	15.95
19	9	15	22.2
20	9	12	16.4
21	10	12	15.8
22	9.75	11.5	14.25
<i>Vertical Jump</i>			
17	21.78	34.5	38.64
18	23.57	28.35	37.7
19	18.78	27.1	30.98
20	24.14	27.7	44.08
21	23.18	31.6	38.88
22	9.23	20.5	36.43

In Fig. 10 and Fig 11, the graphs of the percentiles obtained with the results of the tests carried out on the students according to age are shown.

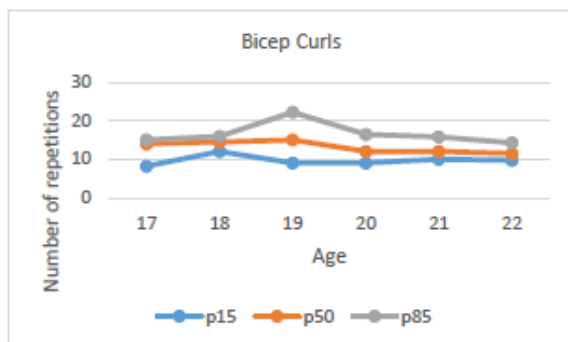


Fig. 10. Percentile curves (p15, p50, and p85) according to age for the Bicep Curl test.

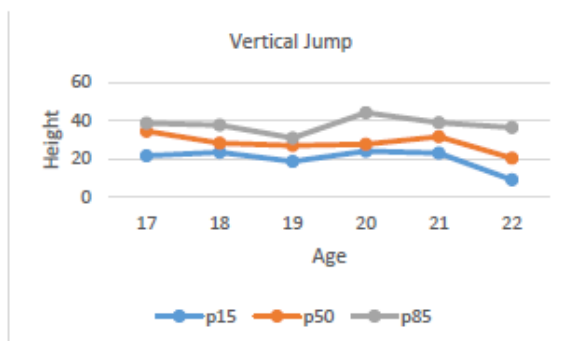


Fig. 11. Percentile curves (p15, p50, and p85) according to age for the Vertical Jump test.

After analyzing the data, the moderate correlations between the BMI or body mass index and the maximum vertical jump distance are shown as a more robust yet moderate correlation between hip angle or flexing and maximum vertical jump distance. However, the angle of knee flexion is only weakly correlated to maximum jump distance, which is counterintuitive. However, the hip muscles have a more significant impact on maximum vertical jump capacity. The correlation coefficients found can be seen in Table III.

TABLE III CORRELATION COEFFICIENTS VERTICAL JUMP TEST

Test	Fields	Correlation coefficient	Strength of correlation
Vertical Jump	BMI-Distance	-0.41	Moderate
	Waist Circumference/BMI-Distance	0.49	Moderate
	Hip angle -Distance	0.50	Moderate
	Knee angle -Distance	0.38	Weak

However, we only see weak correlations between all measurements and a maximum number of repetitions of bicep curls done in 30 seconds. The strongest correlation is between BMI and the maximum number of repetitions; while only being a weak correlation, we can assume that a person with a lower BMI tends to do better in this test, so long as they are not underweighted. This is probably because people with a BMI below what would be considered overweight tend to have lean or muscle mass in their extremities, like their arms. The correlation coefficients for the bicep curl test can be seen in Table IV.

TABLE IV. CORRELATION COEFFICIENTS BICEP CURL TEST

Test	Fields	Correlation coefficient	Strength of correlation
Bicep Curl	BMI-Repetitions	-0.25	Weak
	Maximum angle of flexion -Repetitions	-0.16	Very weak/no association
	Maximum angle of extension -Repetitions	-0.06	Very weak/no association
	Waist Circumference/BMI-Repetitions	0.33	Weak

Regarding the precision of the software developed, it is noted that 79.92% accuracy was obtained. This percentage is sufficiently close than observed in other research [16], [17], which tends to be 80-90%, although said research did not test the same tests, this could be a factor in why the accuracy is slightly lower, nonetheless it still shows a good trend in regard to the algorithms, hardware and process employed in our research. However, if we want to increase the accuracy, we should look at what factor could have impacted significantly on the accuracy level. We can assume this is due to three factors. The first is the regular experience of developers in this type of program and the use of the Azure Kinect SDK. This could lead

to less efficient and effective code. Secondly, we can assume that the hardware restrictions affected the outcome significantly. Using a graphics card that is three generations old, seeing that the current generation of NVIDIA Graphics cards is in the 4000 series, and we used a 1000 series, could have adversely affected the outcome. The hardware limitations also factor in the third reason, using only one sensor. In addition, the research of [18] mentions the complexity of the methods for calibrating a multi-camera system using Azure Kinect, but that these are still being tested to see if they really increase the accuracy of the data obtained. However, as we plan to import this system to a mobile application, we first need to observe the capabilities using only one sensor as this would resemble using a smartphone or similar device.

Nonetheless, we plan to use two Azure Kinect sensors for future research. As also mentioned by the research of [19], who in their comparative study of available technologies for upper extremity exercise measurement, determine that the Azure Kinect and its algorithms work best for an environment where one cannot the lighting and if there is clutter, among other considerations that were taken into account to improve the quality of the data collected by the sensors. This motivates our future work in applying the calibration methodology of two Kinect cameras to contrast the obtained data and confirm an increase of performance in the use of more sensors for body tracking. Finally, our work proposes a method for the measurement of physical fitness in students while being low cost and non-invasive. It also served for the construction of a small dataset, which to date did not exist and that can continue to increase for the next creation of a predictive model, as done in [20], where, unlike our work, they focus on in sports rehabilitation, performing the evaluation of FMS (Functional Movement Screen).

V. CONCLUSION

After analyzing the results, we can conclude that the precision of the software developed using the Azure Kinect sensor is sufficiently close to state of the art and thus can be further developed and improved to a point where a real-world implementation is not only possible but likely to have a positive impact in the evaluations of physical fitness that are done in the region of Arequipa by reducing the amount of subjectivity that current methods carry and by simplifying the process of evaluation of physical fitness.

REFERENCES

- [1] T. Akter, Z. Zeba, I. Hosen, F. Al-Mannan, y M. A. Mamun, «Impact of the COVID-19 pandemic on BMI: Its changes in relation to socio-demographic and physical activity patterns based on a short period», *PLOS ONE*, vol. 17, n.º 3, p. e0266024, mar. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0266024.
- [2] N. F. Daniels, C. Burria, T. Chan, y F. Fusco, «A Systematic Review of the Impact of the First Year of COVID-19 on Obesity Risk Factors: A Pandemic Fueling a Pandemic?», *Curr. Dev. Nutr.*, vol. 6, n.º 4, p. nzac011, abr. 2022, doi: 10.1093/cdn/nzac011.
- [3] M. Di Cesare *et al.*, «The epidemiological burden of obesity in childhood: a worldwide epidemic requiring urgent action», *BMC Med.*, vol. 17, n.º 1, p. 212, dic. 2019, doi: 10.1186/s12916-019-1449-8.
- [4] B. J. Restrepo, «Obesity Prevalence Among U.S. Adults During the COVID-19 Pandemic», *Am. J. Prev. Med.*, vol. 63, n.º 1, pp. 102-106, jul. 2022, doi: 10.1016/j.amepre.2022.01.012.
- [5] Debnath, Bappadiya, O'Brien, Mary, Yamaguchi, Motonori, y Behera, Ardhendu, «A review of computer vision-based approaches for physical rehabilitation and assessment», *Multimed. Syst.*, pp. 209-239, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s00530-021-00815-4>.
- [6] D. Zhu, H. Zhang, Y. Sun, y H. Qi, «Injury Risk Prediction of Aerobics Athletes Based on Big Data and Computer Vision», *Sci. Program.*, vol. 2021, pp. 1-10, abr. 2021, doi: 10.1155/2021/5526971.
- [7] M. A. Adams, C. B. Phillips, A. Patel, y A. Middel, «Training Computers to See the Built Environment Related to Physical Activity: Detection of Microscale Walkability Features Using Computer Vision», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, n.º 8, p. 4548, abr. 2022, doi: 10.3390/ijerph19084548.
- [8] S. R. Khanal, D. Paulino, J. Sampaio, J. Barroso, A. Reis, y V. Filipe, «A Review on Computer Vision Technology for Physical Exercise Monitoring», *Algorithms*, vol. 15, n.º 12, p. 444, nov. 2022, doi: 10.3390/a15120444.
- [9] H. Horak, K. Jermakovs, y R. E. Haamer, «Modeling Physical Activity in Children by Combining Raw Hip-Worn Accelerometry, 2D Pose Estimation, and Direct Observations», *IEEE Access*, vol. 10, pp. 39986-40000, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3160474.
- [10] A. Elkholy, M. E. Hussein, W. Gomaa, D. Damen, y E. Saba, «Efficient and Robust Skeleton-Based Quality Assessment and Abnormality Detection in Human Action Performance», *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, vol. 24, n.º 1, pp. 280-291, ene. 2020, doi: 10.1109/JBHI.2019.2904321.
- [11] R. Mondal, D. Mukherjee, P. K. Singh, V. Bhateja, y R. Sarkar, «A New Framework for Smartphone Sensor-Based Human Activity Recognition Using Graph Neural Networks», *IEEE Sens. J.*, vol. 21, n.º 10, pp. 11461-11468, may 2021, doi: 10.1109/JSEN.2020.3015726.
- [12] M. Zaki Zadeh, A. Ramesh Babu, A. Jaiswal, y F. Makedon, «Self-Supervised Human Activity Representation for Embodied Cognition Assessment», *Technologies*, vol. 10, n.º 1, p. 33, feb. 2022, doi: 10.3390/technologies10010033.
- [13] A. Baca, P. Debnicki, C.-W. Hu, P. Kornfeind, y J. Exel, «Ubiquitous Computing in Sports and Physical Activity—Recent Trends and Developments», *Sensors*, vol. 22, n.º 21, p. 8370, nov. 2022, doi: 10.3390/s2218370.
- [14] K. Host y M. Ivašić-Kos, «An overview of Human Action Recognition in sports based on Computer Vision», *Heliyon*, vol. 8, n.º 6, p. e09633, jun. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09633.
- [15] Hórák, «Computer Vision-Based Unobtrusive Physical Activity Monitoring in School by Room-Level Physical Activity Estimation: A Method Proposition», *Information*, vol. 10, n.º 9, p. 269, ago. 2019, doi: 10.3390/info10090269.
- [16] L. Wang y S. Chen, «Student Physical Fitness Test System and Test Data Analysis System Based on Computer Vision», *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2021, pp. 1-8, may 2021, doi: 10.1155/2021/5589065.
- [17] Á. Uhlár *et al.*, «Kinect Azure-Based Accurate Measurement of Dynamic Valgus Position of the Knee—A Corrigible Predisposing Factor of Osteoarthritis», *Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 12, p. 5536, jun. 2021, doi: 10.3390/app11125536.
- [18] L. Romeo, R. Marani, A. G. Perri, y T. D'Orazio, «Microsoft Azure Kinect Calibration for Three-Dimensional Dense Point Clouds and Reliable Skeletons», *Sensors*, vol. 22, n.º 13, p. 4986, jul. 2022, doi: 10.3390/s22134986.
- [19] Institute for Research and Innovation in Bioengineering, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, Spain, E. Ivorra, M. Ortega, y M. Alcaniz, «AZURE KINECT BODY TRACKING UNDER REVIEW FOR THE SPECIFIC CASE OF UPPER LIMB EXERCISES», *MM Sci. J.*, vol. 2021, n.º 2, pp. 4333-4341, jun. 2021, doi: 10.17973/MMSJ.2021_6_2021012.
- [20] Q.-J. Xing, Y.-Y. Shen, R. Cao, S.-X. Zong, S.-X. Zhao, y Y.-F. Shen, «Functional movement screen dataset collected with two Azure Kinect depth sensors», *Sci. Data*, vol. 9, n.º 1, p. 104, mar. 2022, doi: 10.1038/s41597-022-01188-7.

G. Muestra de Datos Recolectados

F.1. Muestra de datos recolectados de prueba de salto horizontal en campo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	Edad	Sexo	Talla	Peso	Varianza de cdm	Control 1	Software	Angulo de Cadera	Angulo de Rodilla	Angulo de tobillo	Control 2	Software	Angulo de Cadera	Angulo de Rodilla	Angulo de tobillo	Control 3	Software	Angulo de Cadera	Angulo de Rodilla	Angulo de tobillo	
42	17	F	166	50.25	61	117.00	107.81	62.53	106.44	66.48	108.00	103.48	113.47	109.58	65.72	122.00	114.83	110.64	111.39	67.58	
43	16	F	163	46.40	64	180.00	167.53	63.52	53.10	46.92	179.00	166.77	56.93	49.82	35.98	186.00	173.48	62.15	51.43	57.69	
44	16	F	166	63.85	72	160.00	154.37	48.28	41.54	75.18	160.00	157.74	45.62	38.22	67.06	168.00	160.72	45.64	31.87	69.63	
45	17	F	157	53.50	78	99.00	100.04	115.23	95.84	66.50	105.00	100.49	125.40	105.28	68.58	98.00	96.38	123.69	101.98	80.22	
46	16	F	163	69.05	85	120.00	116.79	107.73	103.87	76.22	129.00	117.81	113.05	107.40	76.75	130.00	120.24	112.13	111.21	76.96	
47	16	F	161	53.05	69	170.00	163.55	112.83	104.43	70.83	158.00	151.62	105.65	71.88	167.00	162.64	108.83	107.61	72.80	67.73	
48	16	F	168	68.70	79	161.00	154.40	38.48	41.60	64.72	160.00	148.25	72.55	83.08	64.91	160.00	148.90	75.97	103.56	67.73	
49	16	M	167	73.15	79	205.00	193.79	93.83	96.78	60.91	202.00	192.24	84.22	58.31	69.01	215.00	199.99	75.94	68.47	64.48	
50	17	M	177	69.90	79	204.00	190.85	36.84	60.81	46.97	210.00	195.10	44.16	34.93	66.94	220.00	200.61	32.78	26.40	61.20	
51	16	M	167	53.70	73	224.00	212.33	27.90	62.99	63.45	234.00	229.55	49.31	71.67	60.00	240.00	221.07	42.06	54.82	58.15	
52	16	M	171	64.20	73	200.00	185.98	92.04	52.48	69.12	202.00	188.64	84.46	51.42	64.68	205.00	191.11	88.14	62.62	70.37	
53	16	M	175	101.00	107	200.00	187.94	48.47	61.11	70.74	204.00	185.92	53.72	69.15	74.17	211.00	197.17	39.49	64.61	72.11	
54	16	M	175	68.10	81	190.00	171.95	68.64	117.75	71.04	195.00	175.66	56.14	65.65	66.81	217.00	197.69	56.36	77.27	68.80	
55	16	M	166	51.80	66	166.00	147.02	107.56	105.95	61.98	185.00	170.93	114.59	107.80	59.52	198.00	180.16	78.74	71.71	53.14	
56	16	M	170	58.10	70	176.00	165.09	73.33	75.55	46.67	185.00	182.77	70.27	84.33	62.34	194.00	182.70	63.27	82.47	55.62	
57	16	M	179	52.30	66	179.00	168.59	103.26	102.88	59.42	190.00	175.78	105.78	110.69	61.50	211.00	190.97	103.16	106.91	57.56	
58	16	M	177	58.50	68	213.00	199.59	67.74	103.48	67.89	237.00	220.55	73.09	96.32	58.57	240.00	223.87	68.12	79.77	45.68	
59	16	M	171	76.55	86	152.00	148.36	87.15	97.86	71.02	150.00	148.95	92.53	69.99	151.00	139.94	85.45	102.99	65.33		
60	16	F	159	50.15	71	154.00	144.59	94.71	88.52	56.37	152.00	142.47	74.63	83.00	52.82	160.00	151.09	79.92	82.97	57.51	
61	16	F	157	55.95	70	94.00	85.85	128.34	123.44	80.01	110.00	103.54	127.94	114.03	61.98	104.00	99.68	105.05	125.19	69.74	
62	17	F	158	58.55	67	153.00	147.78	46.67	46.49	60.46	155.00	153.41	25.65	22.25	54.20	148.00	139.15	19.49	19.31	61.02	
63	16	F	157	62.65	78	166.00	156.60	57.91	75.98	64.67	168.00	155.18	50.88	49.12	69.94	160.00	150.88	50.32	66.47	65.24	
64	16	F	153	51.70	68	141.00	139.36	66.99	78.71	62.24	124.00	119.24	91.87	105.38	60.95	142.00	136.53	75.47	90.97	57.87	
65	18	F	152	47.90	63	140.00	136.35	68.05	90.97	70.46	136.00	129.67	105.62	84.92	74.67	137.00	131.78	100.06	92.27	72.68	
66	17	F	153	41.05	57	147.00	138.07	75.39	96.97	74.51	146.00	135.34	72.08	99.82	78.35	130.00	122.12	87.68	108.42	74.68	
67	17	F	156	54.30	68	126.00	119.31	101.85	102.85	77.39	132.00	121.03	72.43	97.14	65.12	134.00	125.17	84.62	98.75	70.42	
68	16	M	173	67.45	74	163.00	153.78	100.98	95.79	63.64	169.00	165.22	91.25	95.25	63.85	178.00	172.92	94.81	93.78	61.05	
69	16	M	177	86.45	90	173.00	166.16	104.06	102.72	56.19	181.00	173.43	100.94	76.79	69.54	186.00	184.34	97.22	95.57	61.39	
70	16	M	170	60.70	73	190.00	180.52	81.57	82.38	56.63	204.00	194.18	68.50	71.80	52.98	214.00	202.16	44.55	42.16	62.68	
71	16	M	173	58.75	63	202.00	192.11	76.12	89.64	62.60	208.00	196.07	82.40	97.27	59.32	190.00	176.37	98.21	85.72	74.16	
72	16	M	170	65.15	73	222.00	209.00	60.34	49.88	56.98	228.00	208.62	74.18	36.26	58.41	225.00	206.77	67.08	56.43	61.45	
73	18	M	177	66.30	72	168.00	159.62	89.26	106.51	59.79	176.00	182.36	102.44	110.29	64.29	183.00	174.76	88.24	108.34	68.33	
74	17	M	173	52.25	66	180.00	167.09	56.15	91.52	70.42	189.00	158.17	67.28	95.66	65.32	176.00	166.78	61.49	0.00	70.62	
75	16	M	165	52.25	69	186.00	178.58	64.55	97.08	59.83	179.00	170.33	70.71	95.48	56.84	200.00	188.89	69.70	88.39	56.96	
76	16	M	174	82.25	85	151.00	140.79	60.89	69.19	62.47	150.00	136.43	88.61	65.52	65.81	163.00	152.57	67.64	60.68	59.68	

F.2. Muestra de datos recolectados de prueba de abdominales en laboratorio.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Edad	Sexo	Talla	Peso	Varianza de cdm	Control 1	Software	Error	% de error	% de error promedio total	% de coincidencia total
17	19	M	178	73.85	75	0	0	0	0.00%	1.70%	98.30%
18	18	M	181	77.75	87	0	0	0	0.00%		
19	18	M	170	87.5	99	0	0	0	0.00%		
20	19	M	169	69.2	79	11	11	0	0.00%		
21	18	F	155	60.55	76	7	7	0	0.00%		
22	17	M	182	87.35	85	11	11	0	0.00%		
23	18	M	175	82.4	83	14	14	0	0.00%		
24	17	M	171	74.55	84	11	11	0	0.00%		
25	18	F	151	56.3	72	10	10	0	0.00%		
26	17	M	175	76	90	9	9	0	0.00%		
27	18	F	158	55.65	76	0	0	0	0.00%		
28	17	M	173	61.95	69	1	1	0	0.00%		
29	17	M	175	61.25	69	12	10	2	16.67%		
30	17	M	173	57.65	70	11	11	0	0.00%		
31	17	M	173	76.95	87	8	8	0	0.00%		
32	19	M	178	67	76	12	12	0	0.00%		
33	17	M	177	62.8	70	10	10	0	0.00%		
34	17	M	175	59.2	69	15	15	0	0.00%		
35	17	M	182	69.1	68	10	17	7	70.00%		
36	18	M	167	54.7	71	0	0	0	0.00%		
37	18	M	173	71.15	81	0	0	0	0.00%		
38	17	M	165	47.8	67	7	7	0	0.00%		
39	19	M	181	85.75	106	0	0	0	0.00%		
40	17	M	187	97.25	105	0	0	0	0.00%		
41	18	M	179	71.75	77	11	11	0	0.00%		
42	17	M	170	57.7	70	10	10	0	0.00%		
43	17	F	164	63.65	74	9	9	0	0.00%		
44	17	M	169	66.3	75	0	0	0	0.00%		
45	19	M	175	62.9	66	8	8	0	0.00%		
46	18	M	167	52.5	69	0	0	0	0.00%		
47	17	M	170	81.65	87	4	4	0	0.00%		
48	18	M	174	72	63	0	0	0	0.00%		
49	18	M	178	71.35	66	15	15	0	0.00%		
50	18	M	184	103	100	0	0	0	0.00%		
51	18	F	160	57.8	70	11	11	0	0.00%		

H. Manual de Usuario del Aplicativo Móvil

Manual de usuario para el aplicativo “Fitrack”

Versión 1.0

SANTOS PAMO BRUNO ANDRE

CÁRDENAS RODRIGUEZ FABRIZIO JORGE

SULLA TORRES JOSE ALFREDO

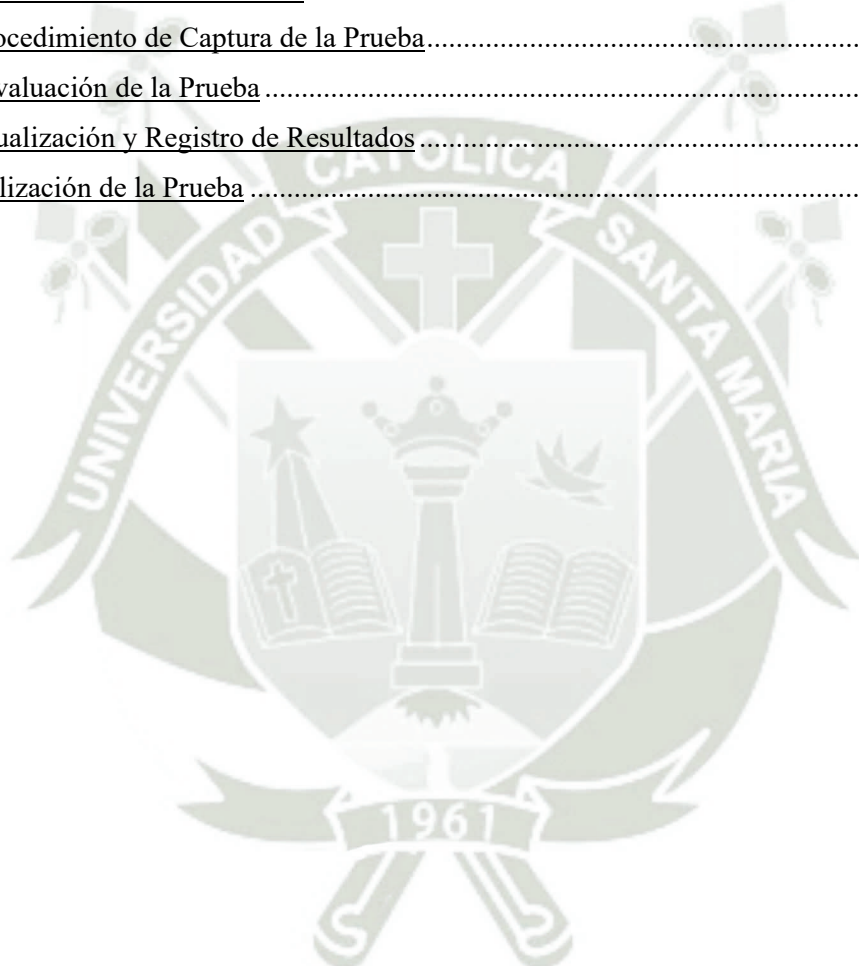
Historial de Revisiones

Versión	Fecha de cambio	Sección que cambia	Descripción	Autores
1.0	21/12/2023	Inicio de documentación	Se elaboró la documentación del prototipo de vistas y funcionalidad del aplicativo	-Santos Pamo Bruno Andre. -Cárdenas Rodríguez Fabrizio Jorge.



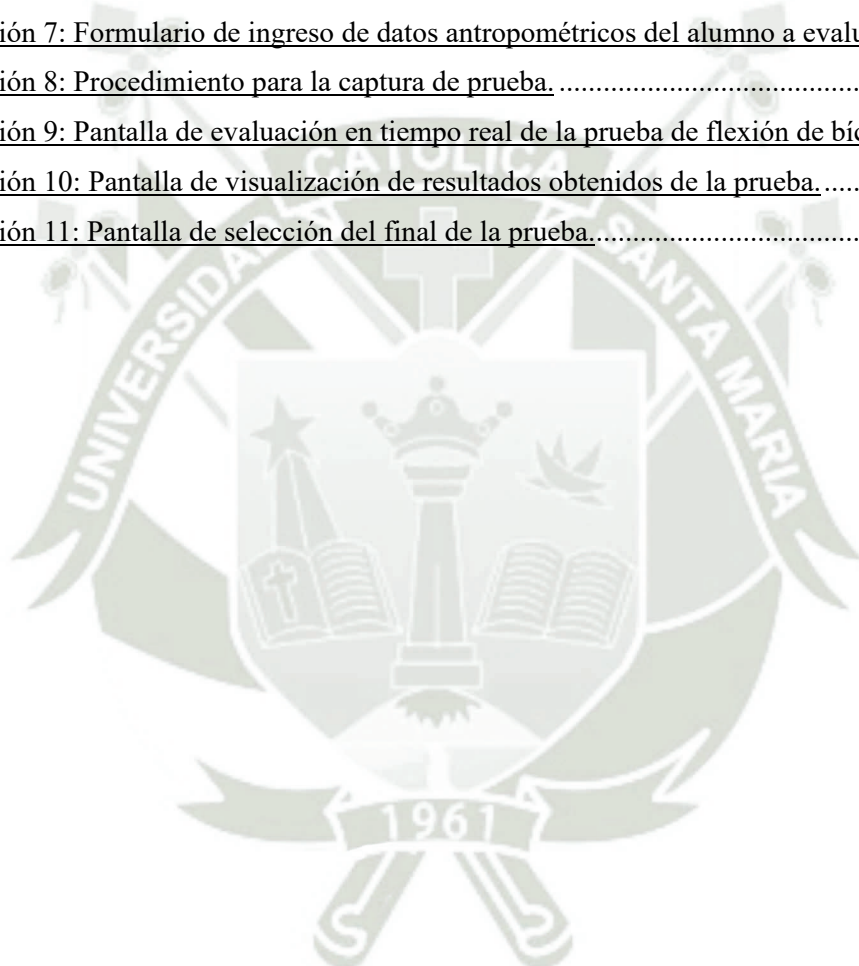
ÍNDICE

<u>I. Generalidades</u>	
<u>II. Requisitos Técnicos de Ejecución</u>	
<u>III. Inicio</u>	
<u>IV. Menú</u>	
<u>V. Procedimiento de Ejecución de la Prueba</u>	
<u>VI. Ingreso de Datos de Alumnos</u>	
<u>VII. Procedimiento de Captura de la Prueba</u>	
<u>VIII. Evaluación de la Prueba</u>	
<u>IX. Visualización y Registro de Resultados</u>	
<u>X. Finalización de la Prueba</u>	



Índice de Ilustraciones

<u>Ilustración 1: Pantalla de inicio</u>	146
<u>Ilustración 2: Menú del aplicativo</u>	147
<u>Ilustración 3: Procedimiento de ejecución de la prueba de salto horizontal</u>	148
<u>Ilustración 4: Procedimiento de ejecución de la prueba de flexibilidad</u>	149
<u>Ilustración 5: Procedimiento de ejecución de la prueba de flexión de bíceps</u>	150
<u>Ilustración 6: Procedimiento de ejecución de la prueba de abdominales</u>	151
<u>Ilustración 7: Formulario de ingreso de datos antropométricos del alumno a evaluar</u>	152
<u>Ilustración 8: Procedimiento para la captura de prueba</u>	153
<u>Ilustración 9: Pantalla de evaluación en tiempo real de la prueba de flexión de bíceps</u>	154
<u>Ilustración 10: Pantalla de visualización de resultados obtenidos de la prueba</u>	155
<u>Ilustración 11: Pantalla de selección del final de la prueba</u>	156

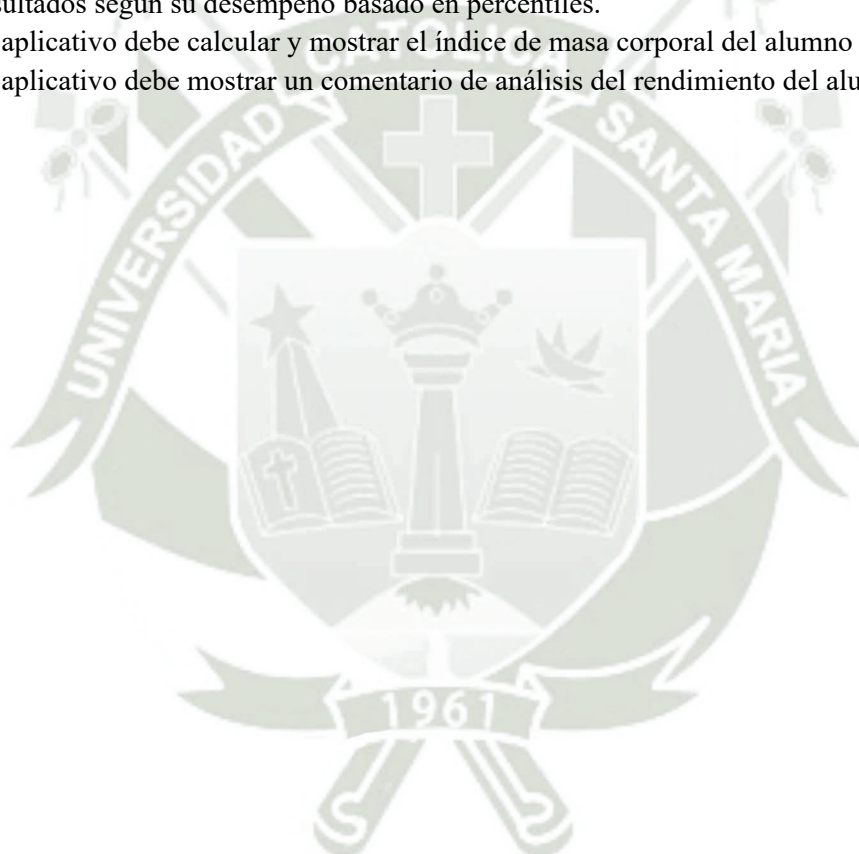


I. Generalidades

El objetivo de este documento es ilustrar al Usuario sobre el uso de las diferentes funcionalidades que ofrece el aplicativo “Fitrack”.

Funcionalidades del Aplicativo:

- El aplicativo debe permitir registrar datos antropométricos del alumno a ser evaluado.
- El aplicativo debe permitir editar los datos antropométricos del alumno.
- El aplicativo debe evaluar a un alumno realizando una de las cuatro pruebas implementadas (salto horizontal sin impulso, flexibilidad sentada, abdominales y flexión de bíceps).
- El aplicativo debe permitir registrar datos evaluados de los cuatro ejercicios delimitados.
- El aplicativo debe permitir retomar datos de los cuatro ejercicios evaluados.
- El aplicativo debe permitir visualizar los resultados de cada prueba y posicionar dichos resultados según su desempeño basado en percentiles.
- El aplicativo debe calcular y mostrar el índice de masa corporal del alumno evaluado.
- El aplicativo debe mostrar un comentario de análisis del rendimiento del alumno en la prueba.



II. Requisitos Técnicos de Ejecución

- Conexión a internet
- Pantalla 4 pulgadas o más

Entorno		Características Técnicas				
		Sistema Operativo	Procesador	Resolución Cámara	Memoria RAM	Almacenamiento
Aplicativo Móvil	Mínimo	Android 10+	Snapdragon 845 +	1280x720	8GB	128 GB



III. Inicio

Se inicia el aplicativo y el usuario observara la pantalla de inicio a la aplicación.

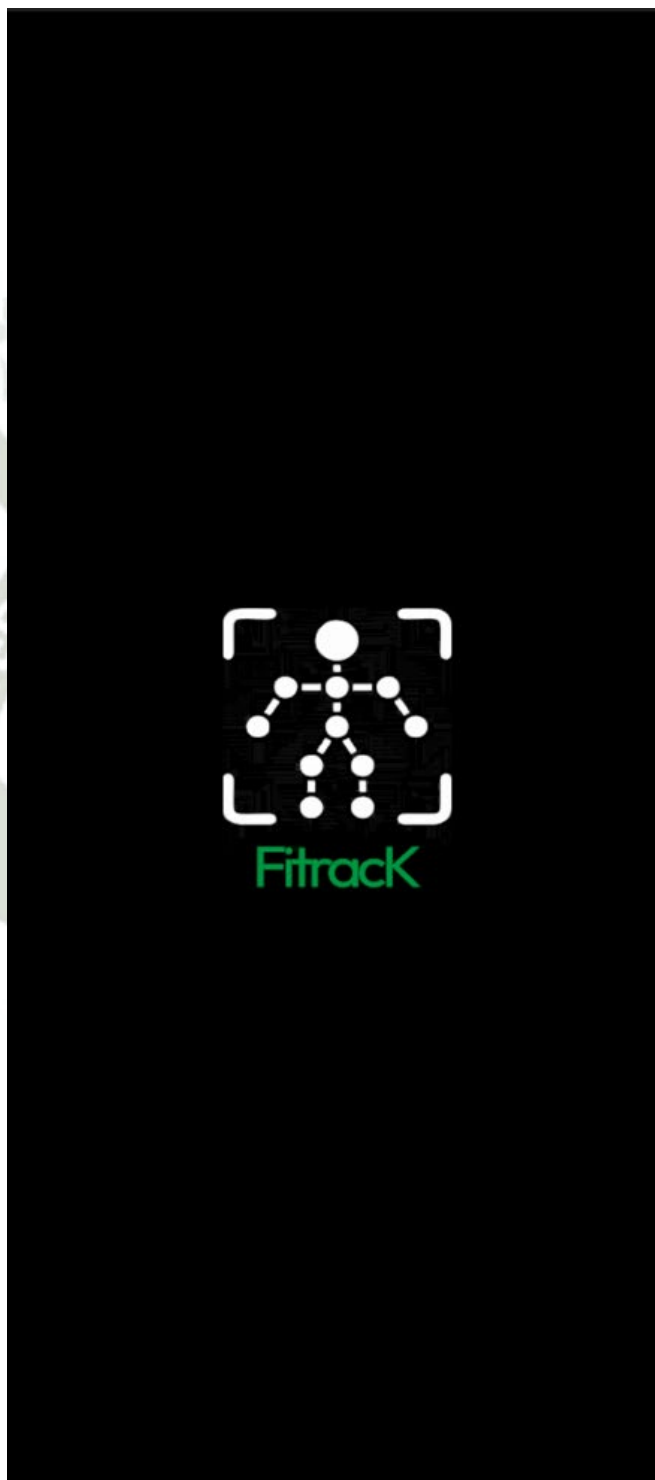


Ilustración 1: Pantalla de inicio

IV. Menú

Después de observar la pantalla se presenta el menú de pruebas que puede evaluar el usuario. Dicho menú se muestra en la siguiente figura.

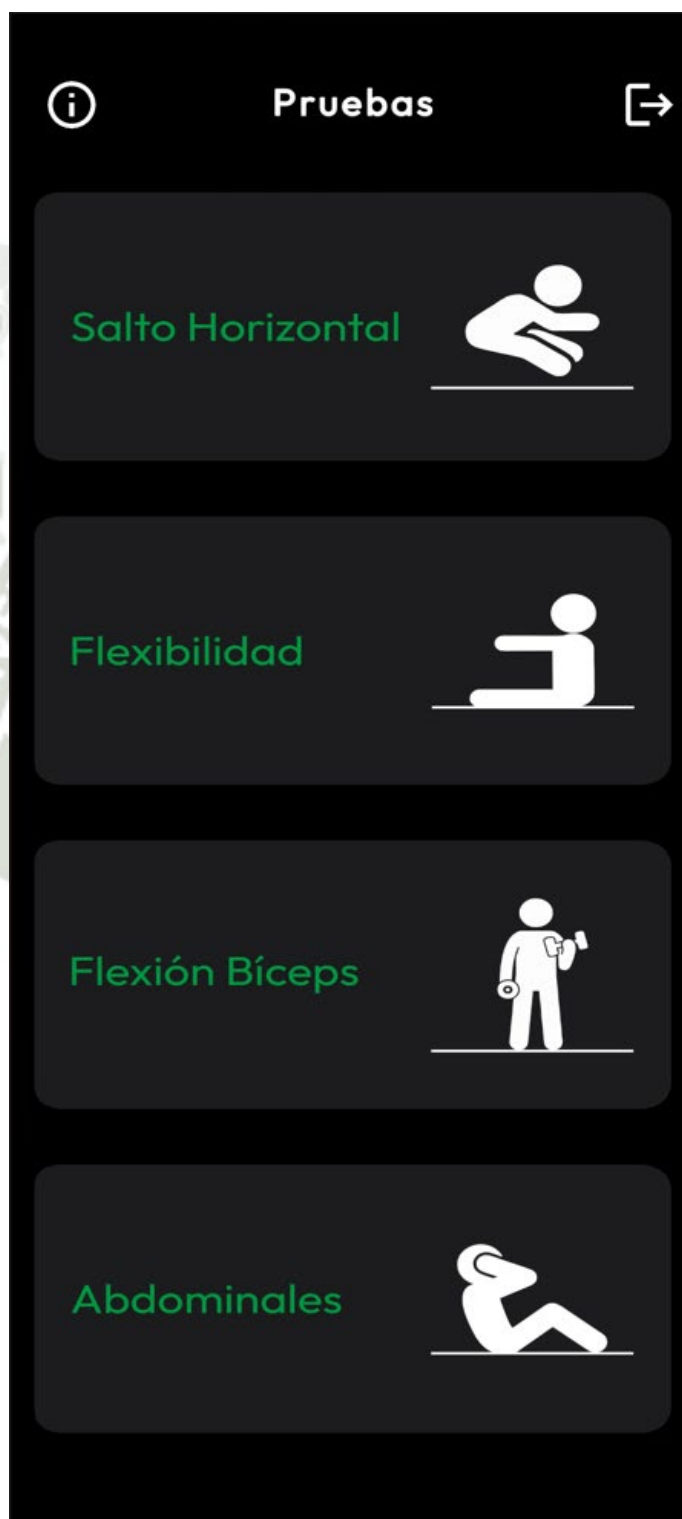


Ilustración 2: Menú del aplicativo

V. Procedimiento de Ejecución de la Prueba

Una vez el usuario decide que prueba evaluará, se muestra el procedimiento de ejecución del mismo. Por lo que en este punto se mostrará una pantalla diferente según corresponda a la prueba seleccionada. A continuación, se muestran las pantallas a mostrar.

Una vez entendida la técnica de ejecución, el usuario puede presionar el botón de “Continuar”.

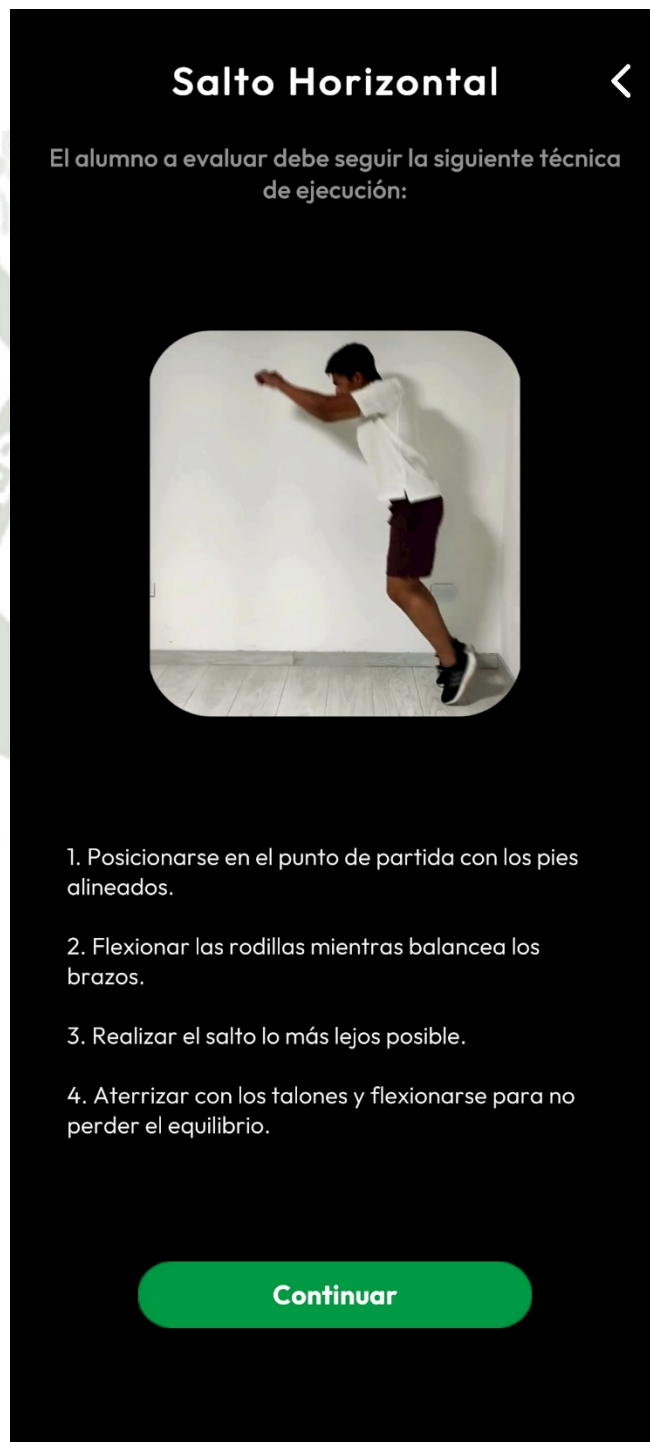


Ilustración 3: Procedimiento de ejecución de la prueba de salto horizontal.

Flexibilidad

El alumno a evaluar debe seguir la siguiente técnica de ejecución:




1. Posicionarse de derecha a izquierda con los brazos estirados frente a la caja "Sit & Reach".
2. Colocar ambas manos en la marca de inicio, con la espalda recta.
3. Desplazar la barra lo más que pueda sin doblar las rodillas.

Continuar

Ilustración 4: Procedimiento de ejecución de la prueba de flexibilidad.

Flexión Bíceps

El alumno a evaluar debe seguir la siguiente técnica de ejecución:




1. Posicionarse con los pies separados a la altura de los hombros, sosteniendo la mancuerna con el peso correspondiente.
2. Flexionar el brazo verticalmente llevando la muñeca lo más cerca posible al hombro.
3. Regresar el brazo a la posición de inicio sin alterar la postura, repetir las flexiones de un solo brazo cuantas veces pueda en 30 segundos.

Continuar

Ilustración 5: Procedimiento de ejecución de la prueba de flexión de bíceps.

Abdominales

El alumno a evaluar debe seguir la siguiente técnica de ejecución:



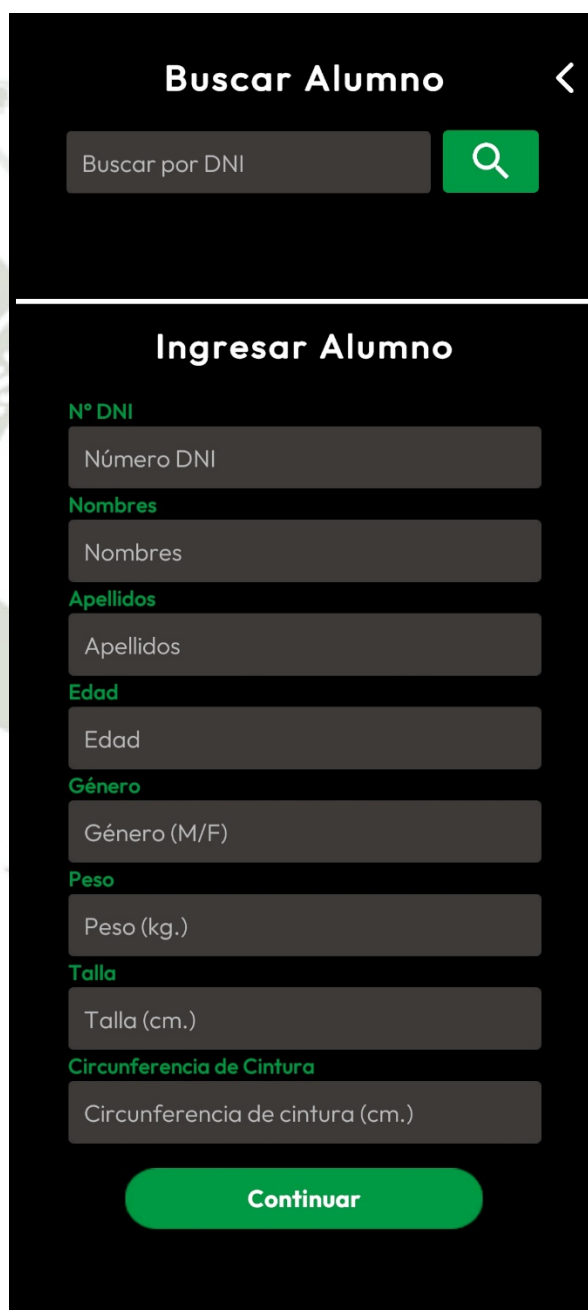
1. Recostarse de izquierda a derecha, con los pies juntos y rodillas flexionadas a 90°.
2. Colocar sus manos detrás de la cabeza o cruzar sus manos encima de su pecho, mantener la misma posición durante toda la prueba.
3. Flexionar su tronco hasta llevar su mentón hasta la altura de sus rodillas flexionadas.
4. Regresar a la posición de inicio y repetir la flexión cuantas veces pueda en 30 segundos.

Continuar

Ilustración 6: Procedimiento de ejecución de la prueba de abdominales.

VI. Ingreso de Datos de Alumnos

Una vez entendida la prueba a ser evaluada se necesita ingresar los datos antropométricos del alumno. Dichos datos se muestran en la siguiente pantalla. De ser el caso de que el alumno ya fue registrado antes, puede realizar una búsqueda ingresando el número de “DNI” y luego presionando el botón con la “lupa”. Se autocompletarán los datos del alumno en el formulario. Una vez completados los datos, presionar el botón “Continuar”



The image shows a mobile application interface with a dark background. At the top, there is a header titled "Buscar Alumno" with a back arrow on the right. Below the header is a search bar with the placeholder text "Buscar por DNI" and a green search icon. A horizontal line separates this from the "Ingresar Alumno" section. This section contains several input fields, each with a label in green text above it: "N° DNI" (with "Número DNI" below), "Nombres", "Apellidos", "Edad", "Género" (with "Género (M/F)" below), "Peso" (with "Peso (kg.)" below), "Talla" (with "Talla (cm.)" below), and "Circunferencia de Cintura" (with "Circunferencia de cintura (cm.)" below). At the bottom of the form is a large green button labeled "Continuar".

Ilustración 7: Formulario de ingreso de datos antropométricos del alumno a evaluar.

VII. Procedimiento de Captura de la Prueba

Con los datos del alumno ya ingresados, la siguiente pantalla muestra una descripción del procedimiento que debe seguir el usuario para realizar correctamente la captura de la prueba. Después de seguidas las instrucciones, puede presionar el botón de “Iniciar” lo cual habilitará la cámara del celular, de ser el caso que la aplicación no tiene permisos, aparecerá una ventana emergente en la que el usuario deberá otorgar permisos a la aplicación para apertura de la cámara correctamente, luego podrá seguir usando la aplicación con normalidad.

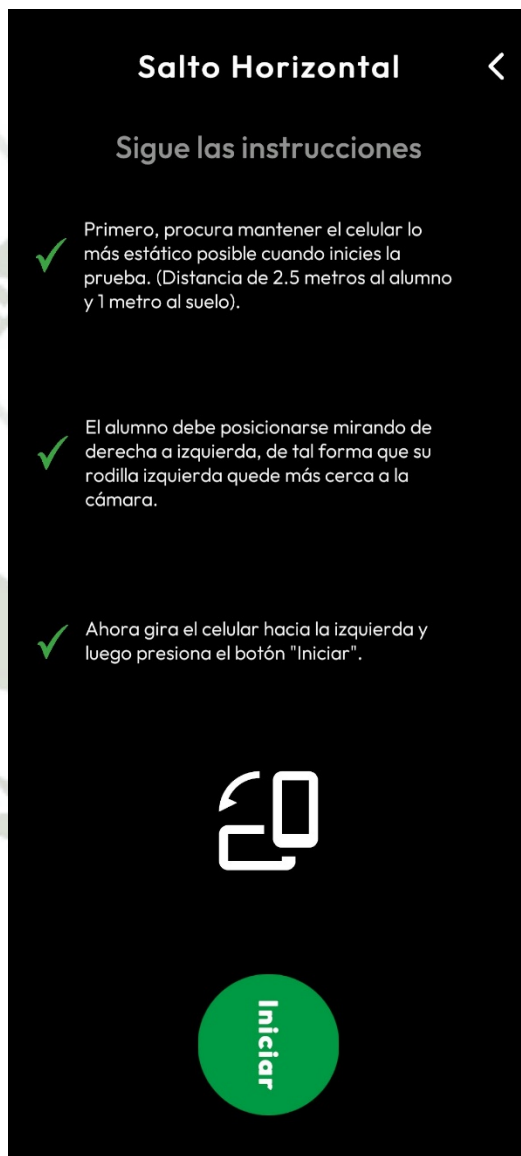


Ilustración 8: Procedimiento para la captura de prueba.

VIII. Evaluación de la Prueba

Posteriormente se inicia la evaluación presionando el botón blanco y rojo ubicado en la parte inferior. El alumno debe estar enfocado en la pantalla durante todo el periodo de evaluación. Una vez se desea culminar la prueba el usuario detiene la grabación presionando el mismo botón para finalizar la evaluación.

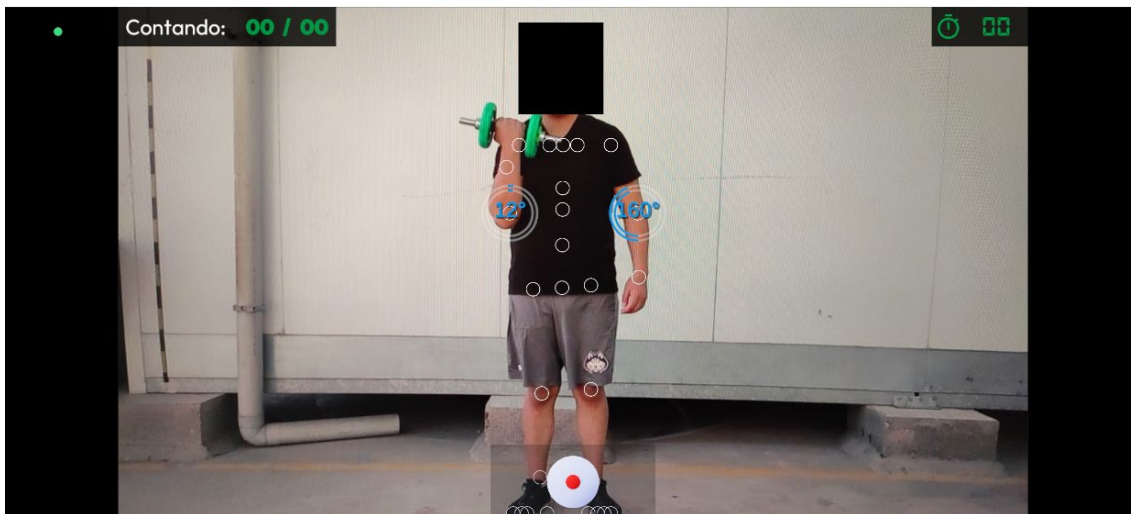


Ilustración 9: Pantalla de evaluación en tiempo real de la prueba de flexión de bíceps.

IX. Visualización y Registro de Resultados

Una vez se detiene la grabación se pasa a la pantalla de visualización de datos. Aquí el usuario puede observar los datos de nombre e identificador del alumno evaluado, su índice de masa corporal, el resultado de la evaluación, una calificación de dichos resultados, su posición según percentiles y una recomendación o análisis de dichos resultados. Finalmente, el usuario procede a presionar el botón “Guardar” para registrar los resultados.

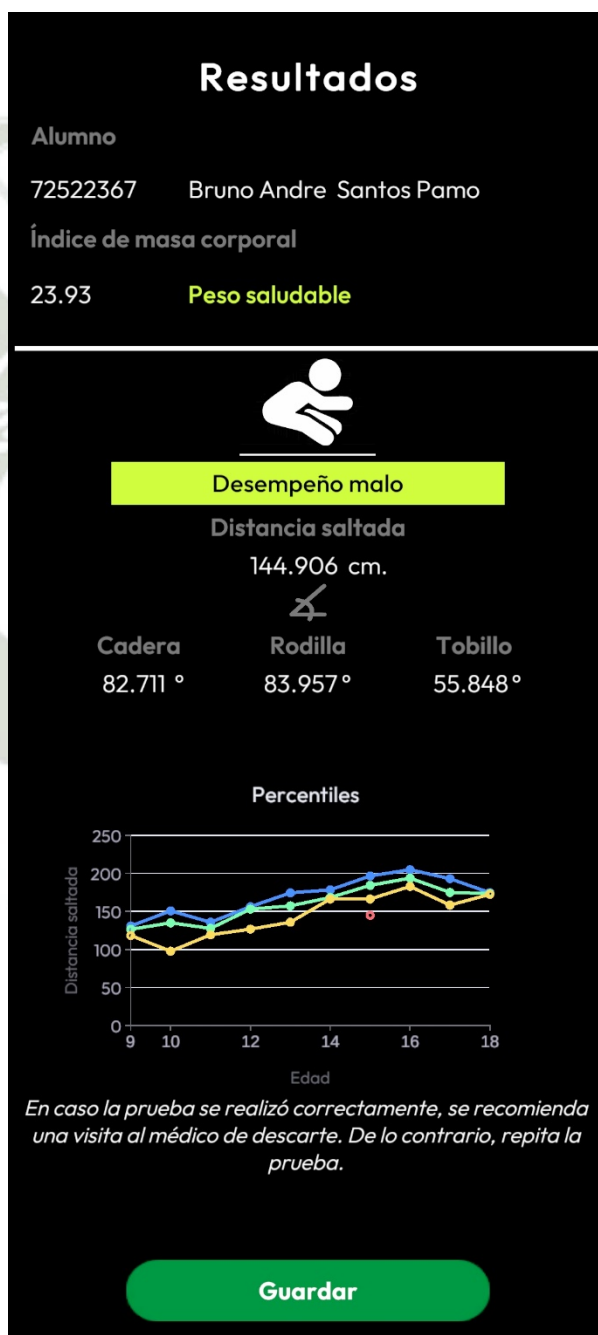


Ilustración 10: Pantalla de visualización de resultados obtenidos de la prueba.

X. Finalización de la Prueba

Una vez el usuario registró los resultados, se le muestra al usuario una pantalla donde puede seleccionar una de las dos opciones. “Menú Pruebas”, permite al usuario volver al menú principal donde puede elegir tomar otra prueba o salir del aplicativo.

En caso el usuario no estuviese satisfecho con los resultados mostrados en la pantalla de visualización, puede seleccionar “Repetir Prueba”, como se muestra en la siguiente pantalla.



Ilustración 11: Pantalla de selección del final de la prueba.

I. Test de Usuario

Test de Usuario

El presente documento muestra los test de usuario realizados por siete profesores de educación física de forma anónima después de utilizar el aplicativo “Fitrack”. La evaluación fue realizada de forma abierta, es decir sin parámetros de calificación, de esta forma evitamos la posibilidad de solo obtener apreciaciones sobre lo que deseamos.

I. Primer Usuario

El usuario realizó su informe de evaluación para todas las interfaces utilizadas en la aplicación, utilizando los nombres definidos en el manual de usuario.

- **Comentario general**
 - Muy fácil de usar.
- **Interfaz de Inicio**
 - El logo da una impresión tecnológica buena.
- **Interfaz de Menú**
 - Me gustó la simpleza y la distribución de los botones de las pruebas, muy limpio.
- **Interfaz del Procedimiento de Ejecución de la Prueba**
 - Los videos insertados fueron de ayuda para seguir la técnica adecuada de evaluación.
- **Interfaz del Ingreso de Datos de Alumnos**
 - Los datos solicitados me parecen suficientes.
- **Interfaz del Procedimiento de Captura de la Prueba**
 - Fácil de leer.
- **Interfaz de Evaluación de la Prueba**
 - Muy intuitiva, como si estuviese usando una cámara del día a día.
- **Interfaz de Visualización y Registro de Resultados**
 - Me gustó la forma en que presentan los resultados, además del gráfico.
- **Interfaz de Finalización de la Prueba**
 - Mensaje y botones simples de entender.

II. Segundo Usuario

El usuario realizó su informe de evaluación para todas las interfaces utilizadas en la aplicación, utilizando los nombres definidos en el manual de usuario.

- **Comentario general**
 - Buena, deberían implementarse más pruebas de evaluación.
- **Interfaz de Inicio**
 - El logo está muy relacionado al objetivo de la aplicación.
- **Interfaz de Menú**
 - Buen diseño de botones.
- **Interfaz del Procedimiento de Ejecución de la Prueba**
 - Los pasos a ejecutar están bien descritos.

- **Interfaz del Ingreso de Datos de Alumnos**
 - Sirve mucho la búsqueda del alumno para ahorrar tiempo en escribir el apellido o nombre de cada alumno.
- **Interfaz del Procedimiento de Captura de la Prueba**
 - La interfaz es clara con los pasos a seguir.
- **Interfaz de Evaluación de la Prueba**
 - La grabación es intuitiva.
- **Interfaz de Visualización y Registro de Resultados**
 - Los resultados se muestran de forma muy didáctica.
- **Interfaz de Finalización de la Prueba**
 - Simple, pero cuando se retorna a repetir la prueba deberían conservarse los datos del alumno a seguir evaluando.

III. Tercer Usuario

El usuario realizó su informe de evaluación para todas las interfaces utilizadas en la aplicación, utilizando los nombres definidos en el manual de usuario.

- **Comentario general**
 - Es un aplicativo muy bien hecho.
- **Interfaz de Inicio**
 - Me gusta la pantalla.
- **Interfaz de Menú**
 - Buena combinación de colores.
- **Interfaz del Procedimiento de Ejecución de la Prueba**
 - Distribución buena en la pantalla.
- **Interfaz del Ingreso de Datos de Alumnos**
 - La búsqueda de alumnos es sencilla.
- **Interfaz del Procedimiento de Captura de la Prueba**
 - Los pasos son claros de seguir.
- **Interfaz de Evaluación de la Prueba**
 - La interacción con la pantalla es muy buena e intuitiva.
- **Interfaz de Visualización y Registro de Resultados**
 - Se pueden visualizar todos los datos que necesitamos saber de la prueba.
- **Interfaz de Finalización de la Prueba**
 - Los botones son muy útiles.

IV. Cuarto Usuario

El usuario realizó su informe de evaluación para todas las interfaces utilizadas en la aplicación, utilizando los nombres definidos en el manual de usuario.

- **Comentario general**
 - Excelente el aplicativo.
- **Interfaz de Inicio**
 - Está bonito el logo de la pantalla.
- **Interfaz de Menú**
 - Buen diseño de los botones, puedo saber la prueba sin leerla.
- **Interfaz del Procedimiento de Ejecución de la Prueba**
 - Las instrucciones se complementan muy bien con los videos.

- **Interfaz del Ingreso de Datos de Alumnos**
 - El ingreso fue consistente y la búsqueda por DNI ayuda a la rapidez del ingreso de dato.
- **Interfaz del Procedimiento de Captura de la Prueba**
 - El texto mostrado a seguir es claro y conciso.
- **Interfaz de Evaluación de la Prueba**
 - Es atractivo que incorporen un cronómetro para el control del tiempo.
- **Interfaz de Visualización y Registro de Resultados**
 - Se visualizan y registran los resultados muy rápido.
- **Interfaz de Finalización de la Prueba**
 - Las funcionalidades son claras en la pantalla.

V. Quinto Usuario

El usuario realizó su informe de evaluación para todas las interfaces utilizadas en la aplicación, utilizando los nombres definidos en el manual de usuario.

- **Comentario general**
 - Muy bueno, funcionan todas las opciones.
- **Interfaz de Inicio**
 - Buena pantalla de bienvenida.
- **Interfaz de Menú**
 - Buena combinación de elementos y colores.
- **Interfaz del Procedimiento de Ejecución de la Prueba**
 - Los videos de técnica están bien hechos y son de ayuda al detalle de ejecución.
- **Interfaz del Ingreso de Datos de Alumnos**
 - El ingreso de cada dato podría mejorarse, se siente lento al pasar entre los campos por llenar.
- **Interfaz del Procedimiento de Captura de la Prueba**
 - Las instrucciones se muestran claras.
- **Interfaz de Evaluación de la Prueba**
 - Los botones son intuitivos para la grabación.
- **Interfaz de Visualización y Registro de Resultados**
 - Se muestra correctamente el desempeño real del alumno con una recomendación apropiada.
- **Interfaz de Finalización de la Prueba**
 - Los botones son rápidos para seguir usando el aplicativo.

VI. Sexto Usuario

El usuario realizó su informe de evaluación para todas las interfaces utilizadas en la aplicación, utilizando los nombres definidos en el manual de usuario.

- **Comentario general**
 - Es una excelente aplicación y cumplen con los requisitos principales.
- **Interfaz de Inicio**
 - Logo adecuado al aplicativo.

- **Interfaz de Menú**
 - Los botones son intuitivos y funcionan correctamente y rápido.
- **Interfaz del Procedimiento de Ejecución de la Prueba**
 - Las instrucciones resaltan bien y llaman la atención a leerlas.
- **Interfaz del Ingreso de Datos de Alumnos**
 - No está claro si los datos registrados y visualizados se almacenan con seguridad, ya que cualquier persona sin identificarse podría acceder a la app.
- **Interfaz del Procedimiento de Captura de la Prueba**
 - Las instrucciones están claras, pero hay que seguirlas con cuidado.
- **Interfaz de Evaluación de la Prueba**
 - Los botones funcionan bien, pero se sienten un poco lentos al pasar de pantalla.
- **Interfaz de Visualización y Registro de Resultados**
 - Los resultados mostrados son importantes para ver el rendimiento del alumno.
- **Interfaz de Finalización de la Prueba**
 - Muy buenos botones para seguir usando la aplicación sin esforzarse a recordar donde empezar de nuevo.

VII. Séptimo Usuario

El usuario realizó su informe de evaluación para todas las interfaces utilizadas en la aplicación, utilizando los nombres definidos en el manual de usuario.

- **Comentario general**
 - Muy buena idea para evaluar con tecnología a los alumnos.
- **Interfaz de Inicio**
 - Interesante la composición del logo.
- **Interfaz de Menú**
 - Es atractiva a la vista y simple de identificar a donde se desea ir.
- **Interfaz del Procedimiento de Ejecución de la Prueba**
 - Las instrucciones se demuestran mejor con los videos agregados.
- **Interfaz del Ingreso de Datos de Alumnos**
 - Se demora un poco en llenar los datos puesto que se tienen que preguntar al alumno, pero después la búsqueda se realiza rápidamente.
- **Interfaz del Procedimiento de Captura de la Prueba**
 - Los pasos son importantes de leerlos bien.
- **Interfaz de Evaluación de la Prueba**
 - La grabación es divertida como un videojuego.
- **Interfaz de Visualización y Registro de Resultados**
 - Los resultados son agradables a la vista y se identifica fácil los puntos de mayor interés.
- **Interfaz de Finalización de la Prueba**
 - Los botones sirven mucho para el ciclo de evaluación de alumno tras alumno.