



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
POSTURA Y VELOCIDAD EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD
BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

Autores:

González González Deysi Tamara
Muñoz Muñoz Darío Javier

Tutor:

PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante.

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Deysi Tamara González González, con cédula de ciudadanía 030270284-0 y Darío Javier Muñoz Muñoz, con cédula de ciudadanía 060393057-9, autores del trabajo de investigación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSTURA Y VELOCIDAD EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 10 de mayo de 2023.



Deysi Tamara González González
C.I: 030270284-0



Darío Javier Muñoz Muñoz
C.I:060393057-9

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado del trabajo de investigación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSTURA Y VELOCIDAD EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES, por Deysi Tamara González González, con cédula de identidad número 030270284-0 y Darío Javier Muñoz Muñoz, con cédula de identidad número 060393057-9, emitimos el DICTAMEN FAVORABLE, conducente a la APROBACIÓN de la titulación. Certificamos haber revisado y evaluado el trabajo de investigación y cumplida la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

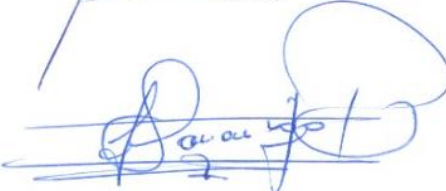
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de mayo de 2023.

PhD. Carlos Peñafiel
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

PhD. Franklin Samaniego
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

PhD. Antonio Meneses
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

PhD. Leonardo Rentería
TUTOR



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSTURA Y VELOCIDAD EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES, presentado por Deysi Tamara González González, con cédula de identidad número 030270284-0 y Darío Javier Muñoz Muñoz, con cédula de identidad número 060393057-9, bajo la tutoría de PhD. Leonardo Fabián Rentería Bustamante; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de sus autores; no teniendo más nada que observar. De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 10 de mayo de 2023.

PhD. Carlos Peñafiel
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

PhD. Franklin Samaniego
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

PhD. Antonio Meneses
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **GONZÁLEZ GONZÁLEZ DEYSI TAMARA**, con CC: **030270284-0** y **MUÑOZ MUÑOZ DARÍO JAVIER** con CC: **060393057-9**, estudiantes de la Carrera de **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSTURA Y VELOCIDAD EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**", cumple con el 1%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 04 de mayo de 2023



Firmado electrónicamente por:
**LEONARDO FABIAN
REENTERIA BUSTAMANTE**

PhD. Leonardo Rentería
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a Dios mi creador, como muestra de mi total gratitud y amor hacia él. A mis queridos padres, Remigio y Nancy González por todo el sacrificio y esfuerzo que realizaron para que yo pueda culminar mi carrera universitaria, gracias por haberme brindado la mejor educación posible.

A Regina, Lady, Rashell y Valentina González por todo su amor y apoyo incondicional, este trabajo no solo es mío, sino también de ustedes.

A Pedro Inca, quien es un pilar fundamental en mi vida, por siempre mantenerse a mi lado y motivarme día a día.

Hoy culmino un gran capítulo de mi vida, llegar hasta aquí no ha sido fácil, pero ha sido posible gracias a todo su amor, apoyo e inmensa paciencia.

Deysi Tamara González González.

A mi familia por estar siempre conmigo y apoyarme, a mí padre y hermanos por su apoyo y guía.

A mis amigos de toda la vida, quienes han sido como hermanos para mí. Agradezco su amistad y el haber compartido tantos momentos buenos y malos, pero siempre juntos.

Y finalmente a la persona más especial en mi vida mi madre que nunca dudo de mí y me apoyo incondicional sin dudarle. Gracias a ella estoy aquí culminando un importante logro en mi vida. Todo por y para ella.

Esta tesis es el resultado de un largo camino, pero no hubiera sido posible sin su amor, apoyo y aliento. Les estaré eternamente agradecido.

Darío Javier Muñoz Muñoz.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones por habernos acogido y brindarnos una educación de calidad.

Al Ing. Leonardo Rentería, quien confió plenamente en nosotros para el desarrollo de este trabajo de titulación, por guiarnos en cada paso del proyecto y nunca dejarnos solos.

A la escuela de patinaje “Chimborazo Skate”, por abrirnos las puertas y permitirnos desarrollar nuestro proyecto, de manera especial al Lcdo. Martín Contreras quien a través de su guía como entrenador logró compartirnos sus conocimientos y por todo apoyo incondicional para culminar el proyecto de investigación.

A Isabel Moya, Isabel Murillo y Sophia Ortega, patinadoras de la escuela de patinaje, gracias por confiar en nosotros y por su paciencia, sin ustedes esto no hubiese sido posible.

Deysi González y Darío Muñoz.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

1.	CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1	INTRODUCCIÓN.....	16
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.3	JUSTIFICACIÓN	19
1.4	OBJETIVOS.....	19
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	19
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	20
2.1	ESTADO DEL ARTE.....	20
2.2	MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.2.1	PATINAJE DE VELOCIDAD.....	22
2.2.1.1	VELOCIDAD.....	22
2.2.1.2	AERODINÁMICA EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD	22
2.2.1.3	BIOMECÁNICA EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD.....	22
2.2.1.4	TÉCNICA DEL PATINAJE EN RECTA	22
2.2.1.5	TÉCNICA DEL PATINAJE EN CURVA.....	23
2.2.1.6	TÉCNICA DEL PATINAJE EN TABLA	24
2.2.2	MÉTODOS DE CONTROL DE POSTURA Y VELOCIDAD.....	25
2.2.3	INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	26
2.2.4	VISIÓN ARTIFICIAL.....	26
2.2.4.1	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES CON VISIÓN ARTIFICIAL....	27
2.2.4.2	ALGORITMOS DE VISIÓN ARTIFICIAL.....	27
2.2.4.3	ALGORITMOS PRE-ENTRENADOS DE DETECCIÓN DE OBJETOS	28
2.2.4.4	ALGORITMOS PRE-ENTRENADOS DE DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA POSTURA HUMANA	28

3.	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	32
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.3	MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.3.1	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	33
3.3.2	INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA	33
3.4	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
3.4.1	FUENTES DE INFORMACIÓN	33
3.4.2	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	34
3.5	POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	34
3.5.1	POBLACIÓN	34
3.5.2	MUESTRA.....	34
3.6	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	35
3.7	MÉTODOS DE ANÁLISIS, Y PROCESAMIENTO DE DATOS.	36
3.7.1	DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO	36
3.7.1.1	INTERFAZ GRÁFICA GUI.....	36
3.7.1.2	SISTEMA DE CONTROL DE POSTURA.....	37
3.7.1.3	SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD	45
3.7.1.4	TABLERO DIGITAL.....	50
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	52
4.1	Información de las patinadoras.....	52
4.2	Análisis de resultados	52
4.2.1	Resultados Generales	53
4.2.2	Resultados Individuales.	58
4.2.2.1	ISABEL MURILLO	58
4.2.2.2	ISABEL MOYA.....	63
4.2.2.3	SOPHIA ORTEGA.....	67
4.2.2.4	COMPARATIVA DE RESULTADOS INDIVIDUALES.....	72
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1	CONCLUSIONES	75
5.2	RECOMENDACIONES	76
6.	BIBLIOGRAFÍA	77
7.	ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fases de la técnica en recta.	23
Tabla 2 Fases de la técnica en curva.	24
Tabla 3 Fases de la técnica en Tabla.	25
Tabla 4 Distribución de la Población.	34
Tabla 5 Operacionalización de variables del Sistema de control de postura y velocidad...36	
Tabla 6 Especificaciones de la cámara del Dron.	38
Tabla 7 Comparación entre Algoritmos de Detección de Poses.	38
Tabla 8 Determinación de los ángulos Fase 1.	43
Tabla 9 Determinación de los ángulos Fase 2.	43
Tabla 10 Determinación de los ángulos Fase 3.	43
Tabla 11 Determinación de los ángulos Fase 4.	43
Tabla 12 Datos de las Patinadoras.	52
Tabla 13 Hipótesis definidas.	53
Tabla 14 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica (Antes).....	53
Tabla 15 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica (Después).....	54
Tabla 16 Prueba de Normalidad General del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada (Antes y Después).....	57
Tabla 17 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medias.	57
Tabla 18 Análisis T de Student Comparación de Medias	58
Tabla 19 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Murillo (Antes).	58
Tabla 20 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Murillo (Después).	58
Tabla 21 Prueba de Normalidad del: Tiempo, Velocidad Evaluada en Isabel Murillo (Antes y Después).	62
Tabla 22 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medianas.....	62
Tabla 23 Análisis T Student Comparación de Medias.....	62
Tabla 24 Análisis Estadístico del Tiempo Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Moya (Antes).	63
Tabla 25 Análisis Estadístico del Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Moya (Después).	63
Tabla 26 Prueba de Normalidad del: Tiempo y Velocidad en Isabel Moya (Antes y Después).	66
Tabla 27 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medianas.....	66
Tabla 28 Análisis T de Student Comparación de Medias.	67
Tabla 29 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Sophia Ortega (Antes).	67

Tabla 30 Análisis descriptivo general del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Sophia Ortega (Después).....	68
Tabla 31 Prueba de Normalidad del: Tiempo y Velocidad en Sophia Ortega (Antes y Después).....	71
Tabla 32 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medianas.....	71
Tabla 33 Análisis T de Student Comparación de Medias	71
Tabla 34 Resultados de la encuesta.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Planteamiento de problema	18
Figura 2	Algoritmos de IA para el reconocimiento de imágenes.	26
Figura 3	Fases de la Visión Artificial en una imagen.	27
Figura 4	Puntos clave de OpenPose.....	29
Figura 5	Puntos clave de PoseNet.	30
Figura 6	Puntos clave de BlazePose.	30
Figura 7	Diseño de la investigación.....	32
Figura 8	Interfaz gráfica principal del proyecto.	37
Figura 9	Posición del Dron con respecto al patinador	37
Figura 10	Diagrama base de estimación de postura de MediaPipe.	39
Figura 11	Diagrama de flujo del sistema	40
Figura 12	Proceso de control de postura en tabla.	41
Figura 13	Fases del sistema en tabla.....	42
Figura 14	Obtención del ángulo del codo	42
Figura 15	Detección de ángulos en cada Fase.....	43
Figura 16	Pantalla principal del Sistema de Control de Postura	44
Figura 17	Funcionamiento del Sistema.....	44
Figura 18	Diseño de la placa RF.....	45
Figura 19	Algoritmo de detección de objetos.....	47
Figura 20	Diagrama de flujo para el Sistema de Control de Velocidad.	48
Figura 21	Proceso del sistema de Velocidad por Procesamiento de imágenes.	49
Figura 22	Pantalla principal del Sistema de Control de Postura	50
Figura 23	Tablero digital.....	51
Figura 24	Circuito electrónico del Tablero.	51
Figura 25	Diagrama de caja de Velocidad.	55
Figura 26	Diagrama de caja de Tiempo.	55
Figura 27	Diagrama de caja de Postura.	56
Figura 28	Diagrama de caja de Técnica.....	56
Figura 29	Diagrama de caja de Resistencia	57
Figura 30	Diagrama de caja de Velocidad (Isabel Murillo).....	59
Figura 31	Diagrama de caja de Tiempo (Isabel Murillo).....	60
Figura 32	Diagrama de caja de Postura (Isabel Murillo)	60
Figura 33	Diagrama de caja de Técnica (Isabel Murillo)	61
Figura 34	Diagrama de caja de Resistencia (Isabel Murillo)	61
Figura 35	Diagrama de caja de Velocidad (Isabel Moya).....	64
Figura 36	Diagrama de caja de Tiempo (Isabel Moya)	64
Figura 37	Diagrama de caja de Postura (Isabel Moya).....	65
Figura 38	Diagrama de caja de Técnica (Isabel Moya)	65
Figura 39	Diagrama de caja de Resistencia (Isabel Moya)	66
Figura 40	Diagrama de caja de Velocidad (Sophia Ortega).....	68

Figura 41	Diagrama de caja de Tiempo (Sophia Ortega)	69
Figura 42	Diagrama de caja de Postura (Sophia Ortega).....	69
Figura 43	Diagrama de caja de Técnica (Sophia Ortega)	70
Figura 44	Diagrama de caja de Resistencia (Sophia Ortega).....	70
Figura 45	Comparativa de Velocidad mediante Diagramas de cajas.	72
Figura 46	Comparativa de Tiempo mediante Diagramas de cajas.	72
Figura 47	Comparativa de Postura mediante Diagramas de cajas.....	73
Figura 48	Comparativa de Técnica mediante Diagramas de cajas.	73
Figura 49	Comparativa de Resistencia mediante Diagramas de cajas.....	74

RESUMEN

El presente trabajo presenta el desarrollo e implementación de un sistema de control de postura y velocidad en el patinaje de velocidad mediante visión artificial. El proyecto se realizó en cuatro fases: incluyendo la búsqueda y análisis de información, desarrollo e implementación del sistema y análisis de los datos obtenidos para determinar la efectividad del mismo. Se llevó a cabo en la escuela “Chimborazo Skate”, con 3 patinadoras del nivel intermedio que fueron entrenadas con el sistema durante 4 semanas, obteniendo datos de postura, técnica, velocidad, tiempo y resistencia antes y después del sistema.

El sistema consta de dos etapas, en la primera, se utiliza técnicas con visión artificial para detectar la postura del patinador y notificar en caso de realizar una mala postura. En la segunda, también utiliza técnicas de visión artificial para medir la velocidad del patinador en pista. Por esta razón, la adquisición de video es a través de la cámara del dron Dji Tello donde, la información es enviada por conexión Wifi al sistema desarrollado para el procesamiento.

Los resultados del análisis estadístico muestran que la mediana de velocidad de las patinadoras antes del sistema fue de 7.286m/s y después del sistema fue de 7.852m/s. Así también, en cuanto a postura se obtuvo que antes del sistema adoptaban una buena postura y después del mismo lograron una postura excelente. Comprobando que el sistema mejora el rendimiento del patinador tanto en velocidad como en postura, sustentando ser una herramienta eficiente para el entrenamiento en el patinaje de velocidad.

Palabras claves: Procesamiento de imágenes, visión artificial, patinaje de velocidad.

ABSTRACT

Abstract

This research presents developing and implementing a posture and speed control system for speed skating using artificial vision. The project was carried out in four phases: including the search and analysis of information, development, and implementation of the system, and analysis of the data obtained to determine the effectiveness of the system. It was carried out in the school "Chimborazo Skate," with three intermediate skaters trained with the system for four weeks, obtaining data on posture, technique, speed, time, and resistance before and after the system. The system consists of two stages; in the first one, artificial vision techniques were used to detect the skater's posture and notify in case of a bad one. In the second, it also used artificial vision techniques to measure the skater's speed on the track. For this reason, the video acquisition is through the camera of the DJI Tello drone; the information is sent by a Wi-Fi connection to the system developed for processing. Proving that the system improves the skater's performance both in speed and posture, sustaining to be an efficient tool for training in speed skating. The statistical analysis results show that the skaters' median speed before the system was 7.286m/s, and after the system was 7.852m/s. As for posture, it was obtained that before the system, they adopted a good posture, and after the system, they achieved an excellent posture.

Keywords: Image processing, artificial vision, speed skating.



Reviewed by:
Mgs. Hugo Romero
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603156258

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1 INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, la evolución de la tecnología en el deporte ha tomado gran importancia desde la alimentación hasta el monitoreo y tratamiento de lesiones logrando mejorar significativamente el rendimiento en los deportistas [1].

El patinaje es considerado un deporte olímpico de gran esfuerzo físico, mental y recreativo que hace que los patinadores frecuentemente sufran lesiones, uno de los factores que lleva a este problema son los movimientos deportivos exagerados, provocando que varias articulaciones se fuercen a posiciones poco favorables para la biomecánica natural del cuerpo humano. Sin embargo, existe pocos estudios realizados en este deporte, hoy en día se tiene análisis biomecánicos de los gestos técnicos en recta, curva y salida estática, en las que se obtiene datos cualitativos y cuantitativos con la finalidad de obtener el movimiento más adecuado para mejorar el rendimiento en los patinadores [2].

Por otro lado, gracias al estudio de los sistemas de procesamiento de imágenes y al avance tecnológico continuo, hoy se cuenta con sistemas basados en imágenes que aportan en diferentes ámbitos como la medicina, deporte, agricultura y comercio.

En el ámbito deportivo, a través del tratamiento de las imágenes se logra tener estadísticas de los partidos y decisiones arbitrales (VAR) [3]. Según Berrocal el procesamiento de imágenes se basa en tres fases continuas como son umbralización, limpieza y filtrado; cada una de estas fases realiza operaciones con el objetivo que al final permitan tener la información requerida [4].

Los métodos tradicionales usados en el procesamiento de imágenes tienen problemas de sensibilidad por lo que con los nuevos estudios se trata de mejorar dichos sistemas utilizando técnicas de Inteligencia Artificial (IA), las técnicas más utilizadas por la IA en el procesamiento de imágenes son: Redes Neuronales, Sistemas Difusos y los Algoritmos Evolutivos de los cuales destacan técnicas como los Sistemas Inmunes Artificiales y la Inteligencia de Enjambre [5].

Estudios y trabajos recientes demuestran la eficiencia de la Inteligencia Artificial en el procesamiento de imágenes como, por ejemplo, en el año 2014 en Ecuador los estudiantes María Calderón y Diego Maldonado emplearon la visión artificial como herramienta para controlar un cuadrúpedo por medio del sistema operativo de robot (ROS), así mismo en el año 2020 estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana diseñaron un módulo para niños con discapacidad capaz de determinar su postura mediante técnicas de visión artificial como herramienta para su desarrollo motriz [4]. También la investigación desarrollada en el año 2018 en el ámbito tecnológico y médico por Juan Martínez [6] donde, desarrolló un sistema de corrección de posturas en el entrenamiento del fisicoculturismo utilizando algoritmos de Visión artificial. determinando que el uso de algoritmos es una buena herramienta de apoyo para el reconocimiento inteligente en el ámbito deportivo.

Por lo tanto, la finalidad del proyecto de investigación es desarrollar un sistema capaz de alcanzar beneficios sobre los patinadores con la detección de postura y medición de

velocidad a través de la aplicación del procesamiento de imágenes en conjunto con la visión artificial para evitar lesiones y aumentar el rendimiento en los deportistas.

La estructura del presente trabajo de titulación está distribuida en capítulos que comprende una descripción detallada de la metodología utilizada en la búsqueda y recopilación de información; así como el desarrollo e implementación del proyecto de investigación. A continuación, una breve explicación de cada uno de los capítulos que conforman este trabajo. El primer capítulo, presenta el problema a resolver y expone la solución correspondiente, así también la justificación de la elección de dicha solución. De igual forma, se establecen los objetivos que se persiguen en el desarrollo del proyecto.

En el segundo capítulo, se realiza una revisión de la literatura de publicaciones y estudios similares, que contribuyan con información de interés para el proyecto de investigación. También, se detalla conceptos teóricos que sirven como complemento para el desarrollo del Sistema de control de postura y velocidad.

El tercer capítulo, proporciona una descripción detallada de la metodología empleada para el desarrollo del sistema de control. Esta metodología se basa en una investigación experimental y descriptiva, el cual se realiza mediante cuatro fases: recopilación de información, desarrollo, implementación y análisis de resultados.

El cuarto capítulo, presenta un análisis e interpretación de los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas con el sistema, con la finalidad de verificar la funcionalidad del sistema.

Finalmente, en el quinto capítulo, se presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial el patinaje es un deporte de gran popularidad e importancia que consiste en el desplazamiento en una superficie regular con la ayuda de patines colocados en los pies. El mayor exponente en este deporte es Colombia, siendo esta la última en coronarse campeona en el Campeonato Mundial de Patinaje de Velocidad 2022 realizada en Buenos Aires, Argentina. Obteniendo el título general en 19 ocasiones a lo largo de la historia del patinaje, logrando hacerlo por 12 años consecutivos [7].

En Ecuador, el patinaje ha tenido varios logros, siendo el último la obtención del tercer lugar en el último mundial de patinaje realizado el 2021 en Ibagué-Colombia. A nivel local Riobamba cuenta con la escuela de patinaje “Chimborazo Skate”, que cuenta con deportistas desde los 5 a 16 años de edad que a pesar de su corta edad han obtenido campeonatos nacionales. Sin embargo, este como otros deportes no está exento de riesgo de lesiones como por ejemplo la fractura de tibia, peroné, esguince de tobillo, desgarre muscular entre otros [6].

Normalmente, las lesiones no dependen del nivel de entrenamiento, en el patinaje de velocidad suelen estar relacionadas con los factores de entrenamiento y la técnica del deportista. Aunque los patinadores no suelen sufrir lesiones por exceso de entrenamiento en cambio suelen sufrir lesiones por caídas, golpes o contusiones, estas caídas generalmente son el resultado de una mala postura o técnica inadecuada durante su entrenamiento. Por

tanto, es importante que los patinadores mejoren su técnica y postura para prevenir lesiones [8].

Por ello, se ve la necesidad de diseñar una herramienta tecnológica capaz de ayudar al patinador a mejorar su postura corporal con el fin de evitar lesiones y optimizar su rendimiento en el patinaje. Además, colaborar al análisis del entrenador, ya que durante los entrenamientos capturaba una fotografía del movimiento del patinador y a través de la aplicación COACH'S EYE, procedía a dibujar manualmente los ángulos de las articulaciones, con el objetivo de estudiar y analizar si los ángulos de las articulaciones son correctos y detectar las fallas en la postura de los patinadores.

Para la solución de este problema se propone el desarrollo de un sistema basado en el procesamiento de imágenes juntamente con algoritmos pre-entrenados de visión artificial, para la detección y corrección de postura y la estimación de velocidad como apoyo de entrenamiento para los estudiantes de la Escuela de patinaje "Chimborazo Skate". En la Figura 1, se muestra el planteamiento del problema enfocado en las causas y efectos de las lesiones y golpes que provoca el realizar una mala postura en el patinaje.

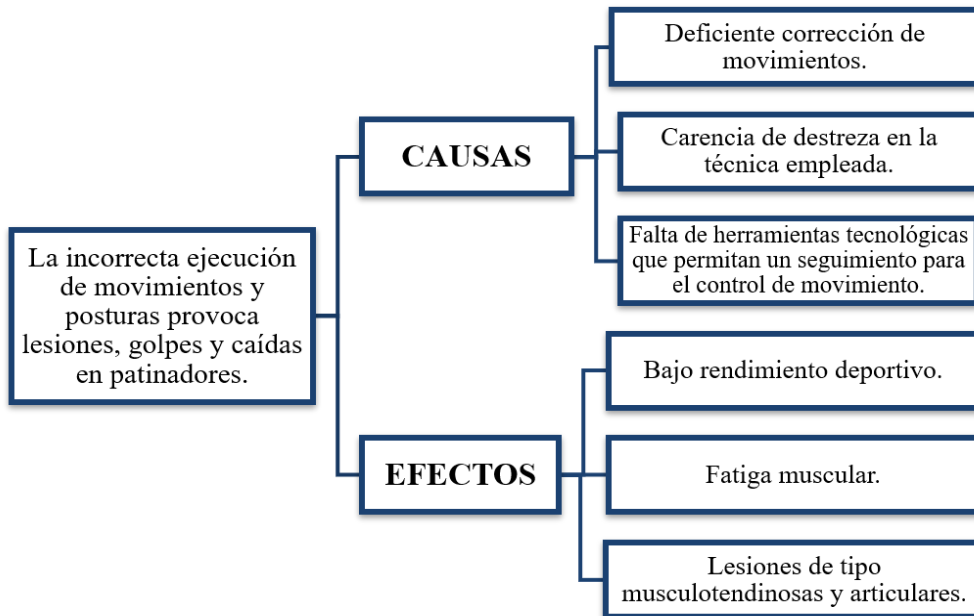


Figura 1 Planteamiento de problema

A partir del análisis de la problemática se plantea como solución el desarrollo de un sistema de medición de velocidad y un sistema de control de postura, el control de postura se realizó mediante la notificación por medio de un dispositivo colocado en el brazo del deportista cuando este ejecute una mala postura en su entrenamiento, permitiendo así una corrección temprana de postura con el fin de optimizar el rendimiento del deportista y reduciendo la posibilidad de sufrir una lesión. Además, se agregará al sistema un tablero digital para el control de tiempo, contador de vueltas e indicador de velocidad. Todo esto con el fin de contribuir a la Escuela de patinaje "Chimborazo Skate" en el avance del deporte a nivel local y nacional.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de investigación surge de la necesidad de solventar los requerimientos de la escuela de patinaje “Chimborazo Skate”, a través de la tecnología y la electrónica se pretende ayudar a los patinadores a controlar sus posturas, movimientos y velocidad para lograr un rendimiento óptimo en cada uno de ellos.

En el Ecuador la tecnología implementada en los deportes es relativamente escasa en comparación con el resto de los países de Europa y América del Norte que realizan avances continuos en este ámbito [9]. Es por ello que el proyecto busca por medio del procesamiento de imágenes utilizando Visión Artificial en software libre mejorar la técnica empleada por los patinadores haciendo que el deportista esté monitoreado al momento de realizar sus entrenamientos y así prevenir lesiones y mejorar sus tiempos en las rutinas. La técnica es el foco de estudio de muchas investigaciones que pretenden mejorar los movimientos y el rendimiento deportivo [10].

Este sistema pretende aprovechar varias herramientas tecnológicas para fomentar la actividad física particularmente la práctica del patinaje que se considera un deporte completo que combina fuerza, habilidad y resistencia.

El proyecto servirá como base en la implementación de herramientas tecnológicas en el deporte a nivel local, permitiendo que futuras investigaciones ayuden al desarrollo del deporte. Por tanto, es un ejemplo de la aplicación real de los conocimientos del área de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones en problemas de otro ámbito como es el patinaje de velocidad.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de control de posturas y velocidad basado en el procesamiento de imágenes que permitan la detección y control de posturas en el entrenamiento de los fundamentos básicos del patinaje de velocidad en la escuela de patinaje “Chimborazo Skate”.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las técnicas y la biomecánica empleada en el entrenamiento de patinaje de velocidad que permitan la identificación de patrones de movimientos en el cuerpo del patinador.
- Estudiar los algoritmos de patrones de reconocimiento en el procesamiento de imágenes para determinar y seleccionar la que mejor se adapte al sistema.
- Implementar el sistema utilizando la técnica y el algoritmo seleccionado para detectar la postura, además, calcular la velocidad y el conteo de número de vueltas que realizan los patinadores durante su entrenamiento.
- Evaluar el sistema con la finalidad de verificar si aporta en la mejora del rendimiento de los patinadores.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 ESTADO DEL ARTE

Actualmente la tecnología ha revolucionado el mundo del deporte, proporcionando gran cantidad de datos, análisis, monitoreo y herramientas que ayudan a mejorar el rendimiento y la prevención de lesiones en los deportistas [9]. El uso de técnicas de procesamiento de imágenes con algoritmos ya entrenados de visión por computadora se está convirtiendo en una herramienta útil para la detección y control de postura en distintos deportes como el golf, baloncesto y yoga [11]. A continuación, se revisan algunos estudios e investigaciones relevantes que han contribuido al avance tecnológico del deporte con el uso de técnicas de procesamiento de imágenes con visión artificial.

El estudio que llevo a cabo Aritz Badiola y Amaia Méndez consiste en una revisión sistemática de la literatura sobre la aplicación de la estimación (Human Pose Estimation) [12], de la postura humana basada en la utilización de cámaras en el ámbito deportivo y en el ejercicio físico. Luego de un análisis de varios trabajos de investigación, los autores concluyen que la estimación de posturas humanas basada en cámaras es una técnica prometedora que puede tener un gran impacto en la mejora del rendimiento deportivo y la prevención de lesiones, no obstante, se afirma que existen desafíos técnicos y de implementación que deben resolverse [13].

Así mismo, los autores Yash Agrawal, Yash Shah y Abhishek Sharma utilizaron redes neuronales convolucionales (CNN) para el análisis y la clasificación de poses de yoga, donde recopilaron datos de 10 posturas de yoga y emplearon técnicas de preprocesamiento de datos y selección de características para entrenar y evaluar seis algoritmos de clasificación. Los resultados mostraron que el modelo Random Forest [14], logró tener una precisión del 94.28% en la clasificación de varias poses de yoga [15].

También, el autor Juan Martínez desarrolló un sistema con visión artificial para la detección y corrección de posturas en el fisicoculturismo, utilizó técnica de procesamiento de imágenes y redes neuronales convolucionales (CNN) para identificar las posturas correctas y detectar los errores en la ejecución de los ejercicios. Para probar el sistema realizó pruebas con un grupo de fisicoculturistas, donde, los resultados demostraron que el sistema propuesto es capaz de detectar y corregir las posturas incorrectas en los deportistas [6].

En cuanto se refiere a estudios de estimación de velocidad, el autor Juan Salinas Hernández en su proyecto de tesis, hace uso de capturas de retransmisiones que por medio de procesamiento de imágenes logra identificar y rastrear a jugadores, proporciona información de su velocidad, dirección de movimiento y registrar en tiempo real su actividad [16]. Este trabajo ayuda al entrenador y deportista a analizar su rendimiento permitiendo mejorar sus estrategias y desempeño. La misma idea comparte la compañía multinacional Infaimon en su artículo publicado "La Visión Artificial en el deporte: del *replay* al control de *hooligans*" [17].

También Eloy Sanchis López, en su trabajo final propone medir la velocidad instantánea en la maquina Smith con pesos para optimizar su carga y reduciendo el tiempo de recuperación del deportista, por medio de un sistema de visión artificial utilizando una cámara

estereoscópica en donde afirma haber tenido resultados satisfactorios [18]. Lo que respalda a la visión artificial como una herramienta eficiente en el campo deportivo.

Por otra parte, en Ecuador, el autor Byron Palacios desarrolló un sistema electrónico para el monitoreo de postura en ejercicios de levantamiento de pesas, utilizó una cámara para capturar la información en tiempo real y aplica un algoritmo de segmentación y clasificación para identificar los diferentes ángulos de las articulaciones. En los resultados se demuestra la efectividad del sistema de monitoreo de posturas incorrectas durante el levantamiento de pesas. El autor concluye que el sistema puede ser una herramienta de gran utilidad para entrenadores y deportistas para mejorar la técnica y prevenir posibles lesiones [19].

Finalmente, en el trabajo realizado por Yosuke Tomita, Tomoki Iizuka, Koichi Irisawa y Shigeyuki Imura propusieron un sistema de detección de eventos de movimientos en el patinaje de velocidad de pista larga mediante el uso de sensores inerciales portátiles [20], la información recolectada de los sensores se procesó para detectar los movimientos, como el inicio y fin de cada vuelta, la posición de los patines y los cambios de dirección. Los autores indican, que el sistema propuesto fue capaz de detectar los eventos de movimiento con una precisión del 97.9% [21].

En general, los estudios mencionados anteriormente, afirman que el uso de técnicas de procesamiento de imágenes con visión artificial es una herramienta de gran potencial para la detección y monitoreo de posturas corporales en el deporte, logrando mejorar el rendimiento y prevenir lesiones en los deportistas. Sin embargo, en el patinaje de velocidad y en otros deportes existe limitadas investigaciones sobre el uso de técnicas de procesamiento de imágenes con IA; puesto que, la mayoría de los estudios en el patinaje de velocidad hacen uso de sensores para la detección de movimientos, por ello, se requieren más investigaciones que comprueben la eficiencia de dichas técnicas en diferentes deportes. Además, los trabajos anteriores respecto a estudios de velocidad aseguran que la estimación de la velocidad utilizando técnicas de visión por computadora en el deporte es un campo de constante estudio y desarrollo. Sin embargo, existe escasa información para el patinaje de velocidad.

Por último, los trabajos antes mencionados aportan la suficiente información para el desarrollo de esta investigación.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 PATINAJE DE VELOCIDAD

El patinaje de velocidad es una disciplina altamente estratégica que requiere considerar de manera crucial las leyes de la mecánica, así como las habilidades y características individuales de cada atleta. El objetivo de este deporte es el de recorrer una distancia determinada en el menor tiempo posible utilizando las habilidades motrices, técnicas de traslado y sincronización [22].

2.2.1.1 VELOCIDAD

En el patinaje la velocidad es esencial puesto que, permite evaluar la efectividad del entrenamiento del patinador, de esta forma la velocidad se define como el desplazamiento de un cuerpo en un tiempo determinado, se expresa en metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (k/h) [22].

2.2.1.2 AERODINÁMICA EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD

La aerodinámica es una rama de la física que estudia la interacción entre un cuerpo y el aire en movimiento. En el patinaje de velocidad, la aerodinámica es importante porque permite optimizar la forma en que el cuerpo del patinador interactúa con el aire, lo que puede influir en su velocidad y rendimiento [23].

2.2.1.3 BIOMECÁNICA EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD




La biomecánica en el patinaje estudia el movimiento del cuerpo del patinador considerando las cargas mecánicas y energéticas con la finalidad de mejorar el rendimiento y prevenir lesiones en los patinadores. El patinaje de velocidad visto desde el punto cinemático [24] es considerado un deporte continuo debido a los ciclos repetitivos de un mismo patrón de movimientos [25]. Las técnicas del patinaje están formadas por tres fases: deslizamiento, empuje y recuperación, y se analizan en entrenamientos de recta y curva [9].

2.2.1.4 TÉCNICA DEL PATINAJE EN RECTA

Es la primera técnica en ser aprendida por los patinadores, los movimientos son simétricos, el movimiento de piernas va acompañado con el movimiento alternativo de los brazos y una ligera curvatura en el tronco y piernas para bajar el centro de gravedad del patinador [2].

El patinaje en recta tiene tres fases: empuje, deslizamiento o recuperación y preparación, esta última fase da inicio inmediatamente a la fase de empuje, logrando convertirse en un movimiento cíclico y repetitivo como se muestra en la Tabla 1 [9].

Tabla 1 Fases de la técnica en recta.

TÉCNICA EN RECTA	
FASE DE EMPUJE	 <ul style="list-style-type: none">• Se debe lograr la mayor longitud de empuje y mantener las ruedas pegadas al suelo.• Lograr una traslación del tronco sobre la pierna de apoyo de forma que la rodilla, mentón y punta del patín queden alineados.• El ángulo de flexión de la rodilla debe estar estable y la inclinación del tronco no debe presentar variaciones.
FASE DE DESLIZAMIENTO O RECUPERACIÓN	 <ul style="list-style-type: none">• El peso del deportista es sostenido por la pierna de apoyo.• En el mismo momento el ángulo de la rodilla de apoyo no debe variar y el tronco debe estar en posición paralela al suelo.• Seguidamente la pierna que realizó el empuje inicia un recorrido hasta lograr apoyarse nuevamente en el suelo.
FASE DE PREPARACIÓN	 <ul style="list-style-type: none">• Conformar el inicio de una nueva fase de empuje.• Se debe apoyar los patines en el suelo.• La traslación del tronco se dirige hacia la otra pierna para tener una alineación entre mentón, rodilla y punta de patín.




Las imágenes de la Tabla 1 han sido tomadas de [9].

2.2.1.5 TÉCNICA DEL PATINAJE EN CURVA

Presenta un elemento complejo en la técnica, puesto que realiza un movimiento asimétrico y cambia al patrón simétrico realizado en recta para cambiar de dirección [26]. Se diferencia con la técnica en recta en que el movimiento se hace a más velocidad por un aumento de la frecuencia y disminución de la longitud de paso [9].

La técnica en curva está formada por tres fases: empuje, trenza y por último la fase de recuperación que al terminar dará inicio nuevamente a la fase de trenza como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2 Fases de la técnica en curva.

Técnica en Curva	
FASE DE EMPUJE	 <ul style="list-style-type: none">• Tiene el mismo objetivo que en recta, lograr la mayor longitud de empuje sin despegar las ruedas del suelo.• La pierna izquierda realiza el empuje.• Se mantiene la alineación vertical entre rodilla, mentón y punta de patín, no obstante, se realiza una ligera inclinación del cuerpo hacia el centro de la pista.
FASE DE TRENZA	 <ul style="list-style-type: none">• Consiste en el paso de la pierna izquierda frente de la derecha y en el mismo momento la pierna derecha realiza un empuje hacia afuera.• Durante este empuje se debe tener las ruedas sobre el piso.• El tronco debe mantenerse de forma paralela al suelo.
FASE DE RECUPERACIÓN	 <ul style="list-style-type: none">• Conformar la última fase.• Consiste en pasar el patín izquierdo por detrás del derecho.• Volviendo a la posición inicial y empezando un nuevo ciclo de trenza.

Las imágenes de la Tabla 2 han sido tomadas de [9].




2.2.1.6 TÉCNICA DEL PATINAJE EN TABLA

La utilización de la tabla deslizante es fundamental en el patinaje de velocidad, puesto que a través de esta se puede realizar de forma repetitiva y pausada los movimientos de técnica [9]. Debido a la superficie deslizante de la tabla permite una serie de ventajas en el entrenamiento de los patinadores:

- Permite el entrenamiento únicamente de manera horizontal, logrando mejorar el empuje lateral y la extensión de brazos y piernas.
- Permite un enfoque preciso en los ángulos de brazos, tronco y piernas.
- Corrección de los movimientos en despegue y recuperación.
- Desarrollar fluidez en las técnicas.
- Lograr un mayor control en la transferencia del tronco en cada etapa del patinaje.

A continuación, en la Tabla 3, se muestra las fases de la técnica utilizada en la tabla deslizante.

Tabla 3 Fases de la técnica en Tabla.

Técnica en Tabla	
FASE DE EMPUJE	 <ul style="list-style-type: none">• Utiliza la misma técnica que en recta.• Consiste en extender completamente la pierna de empuje.• El ángulo de tronco y rodilla se mantienen estables.
FASE DE DESLIZAMIENTO	 <ul style="list-style-type: none">• La pierna de empuje permanece en contacto con la tabla hasta llegar al otro extremo.• El ángulo de extensión no debe variar.
FASE DE RECUPERACIÓN	 <ul style="list-style-type: none">• Una vez terminada la fase de deslizamiento inicia la fase de recuperación.• La pierna de empuje se recoge y la otra pierna mantiene el equilibrio sin sobrepasar el ángulo de 90°.

Las imágenes de la Tabla 3 han sido tomadas de [9].

2.2.2 MÉTODOS DE CONTROL DE POSTURA Y VELOCIDAD

En el contexto deportivo, los métodos de control de postura y velocidad se refieren a las técnicas utilizadas para mejorar la precisión y el rendimiento de los movimientos en los atletas. En el patinaje de velocidad, la gimnasia y el esquí; la postura y la velocidad son factores críticos que afectan la capacidad del atleta para lograr un mejor rendimiento deportivo.

Los métodos de control de postura se centran en mejorar la alineación del cuerpo del atleta, lo que ayuda a mejorar la aerodinámica, aumentar la estabilidad y mejorar la eficiencia del movimiento. Algunas técnicas comunes incluyen la corrección de la posición de la cabeza, el ajuste de la postura del tronco y la mejora de la colocación de los brazos y las piernas [27]. Por otro lado, los métodos de control de velocidad se enfocan en maximizar la velocidad de los movimientos del atleta [16]. Esto puede implicar el uso de técnicas de entrenamiento específicas, como la mejora de la técnica de la zancada, el fortalecimiento de los músculos de las piernas y la optimización de la aerodinámica del cuerpo.

En la actualidad, existen herramientas que pueden ser utilizadas para el control de postura y velocidad en el deporte, algunas de ellas incluyen sensores de movimiento, cámaras de seguimiento, software de análisis de movimiento y simuladores de entrenamiento. Estas herramientas pueden proporcionar una retroalimentación en tiempo real sobre el rendimiento del atleta y ayudar a identificar áreas de mejora en la postura y velocidad de movimiento. Además, algunos dispositivos portátiles también pueden ser utilizados por los atletas para monitorear su postura y velocidad de manera continua durante el entrenamiento [19].

2.2.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia artificial (IA), pertenece a la rama de la ciencia que se encarga del estudio de la inteligencia en elementos artificiales, es decir, crear sistemas y máquinas que realicen tareas parecidas y similares a las del ser humano [28]. Se basa en el uso de algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales artificiales para que las máquinas puedan aprender a partir de datos y mejorar su desempeño con el tiempo [29]. Los algoritmos más utilizados en el reconocimiento de imágenes son Redes Neuronales, Sistemas Difusos e Inteligencia de Enjambre (ver Figura 2).

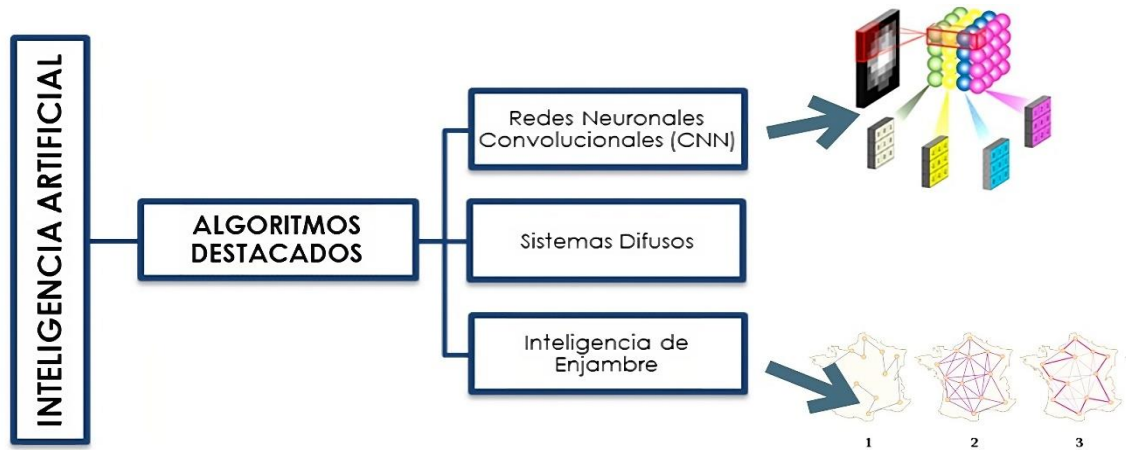


Figura 2 Algoritmos de IA para el reconocimiento de imágenes.

Las redes neuronales convolucionales (CNN) forman parte de las redes neuronales artificiales [29], que se basan en filtros que permiten la detección de patrones con los datos de entrada, utiliza varias capas y cada una se encarga de extraer características específicas como líneas, colores, bordes, texturas y tamaños de la imagen de entrada, a medida que se obtiene más capas se puede detectar características más profundas y complejas [4].

Los sistemas difusos se definen como el conjunto de aproximaciones que comprenden, representan y procesan las imágenes y sus características, se basa en un conjunto de reglas que depende de tres fases para procesar una imagen: difusión de la imagen, modificación de los valores de ajustes y el procesamiento en la máquina de inferencia [30].

La inteligencia de enjambre permite otorgar a un sistema artificial propiedades de grupos de animales que realizan acciones en conjunto con el fin de cumplir una determinada tarea, es decir, se divide la imagen en varios segmentos de píxeles y con el algoritmo detectar en la imagen todas las características [5].

2.2.4 VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial es un campo de la inteligencia artificial que se enfoca en el procesamiento de imágenes y vídeos que, con el uso de diversas técnicas, permite a las computadoras obtener, procesar y comprender las características de una escena o imagen [6]. Estos sistemas pueden ser entrenados para realizar tareas específicas, como la detección de objetos o la clasificación de imágenes, y pueden mejorar su precisión a medida que se les presenta más información [19].

2.2.4.1 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES CON VISIÓN ARTIFICIAL

El sistema de visión artificial para el procesamiento de imágenes realiza un proceso con diversas fases con el fin de obtener la información y determinar la imagen. Un enfoque general de las fases utilizadas en la visión artificial se describe en la Figura 3. Además, las fases varían según la técnica de IA utilizada [31].

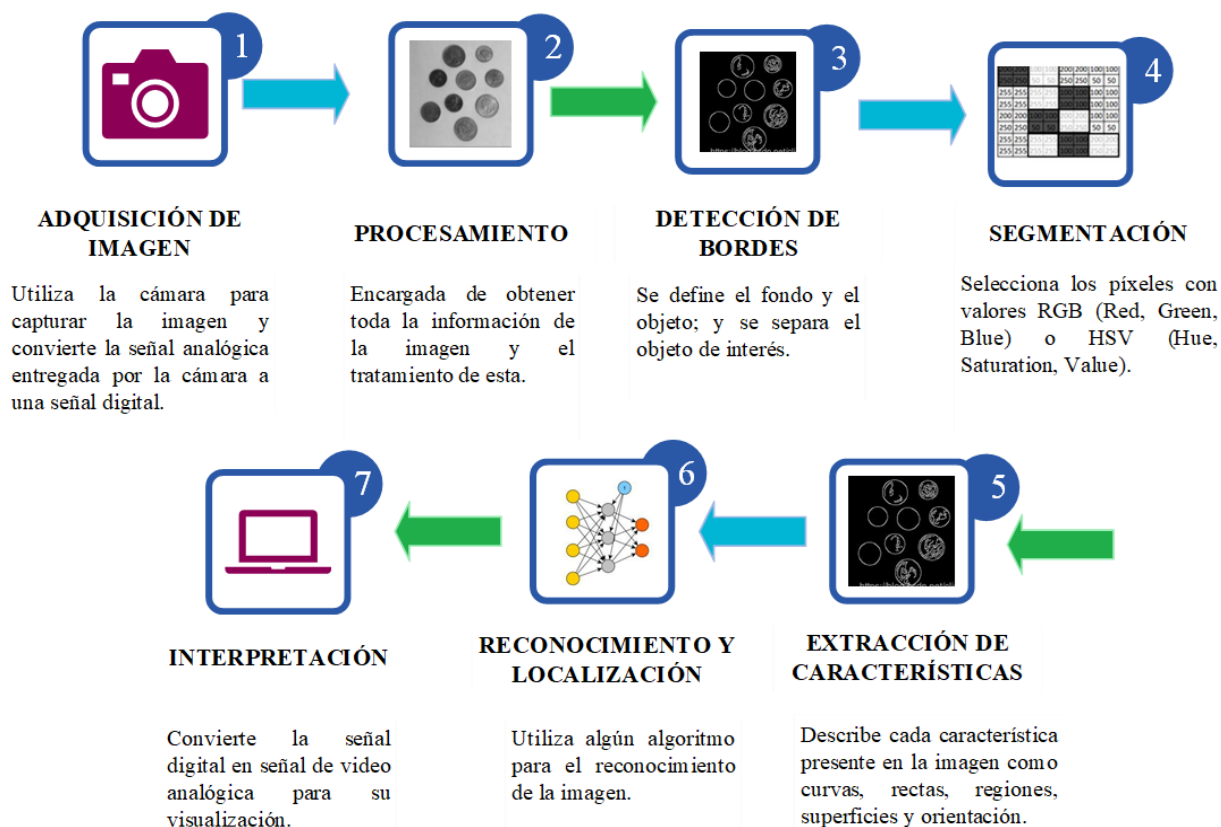


Figura 3 Fases de la Visión Artificial en una imagen.

El objetivo principal del procesamiento de imágenes con visión artificial es identificar y comprender el contenido visual de la imagen para realizar una tarea específica como la detección de objetos, seguimiento de patrones, reconocimiento facial, entre otros [32].

2.2.4.2 ALGORITMOS DE VISIÓN ARTIFICIAL.

En los últimos años, los avances en la visión artificial han sido impresionantes, gracias en parte a los algoritmos pre-entrenados que se encuentran disponibles en bibliotecas como OpenCV.

OpenCV es una biblioteca de código abierto creada para el procesamiento de imágenes, ofrece un conjunto de herramientas para la visión artificial, incluyendo la detección y seguimiento de objetos, el reconocimiento de rostros, la segmentación de imágenes, entre otros. Dentro de la biblioteca, existen una variedad de algoritmos pre-entrenados, que permiten realizar tareas específicas de manera rápida y eficiente [19].

MediaPipe es un marco de seguimiento que se emplea para la creación de datos multimodales de video y audio, permite la detección de rostros, seguimiento de manos, estimación de

poses, entre otros [33]. OpenCV se complementa con MediaPipe para el análisis del flujo de video en tiempo real y la detección de características. Además, la combinación de estas bibliotecas es de gran utilidad en aplicaciones de visión artificial [34].

2.2.4.3 ALGORITMOS PRE-ENTRENADOS DE DETECCIÓN DE OBJETOS

- **YOLO**

Es un algoritmo que detecta objetos en imágenes y vídeos en tiempo real. YOLO utiliza una única red neuronal convolucional para detectar y clasificar objetos sin requerir una región de interés previa, como lo hacen otros algoritmos [32].

El proceso de detección consiste en dividir la imagen en una cuadrícula de celdas, cada una encargada de predecir cuadros delimitadores de objetos y su clase. YOLO es capaz de detectar varios objetos y asignarles las clases correspondientes en una sola pasada [35]. Aunque YOLO es rápido y eficiente, puede tener dificultades para detectar objetos pequeños o con formas complicadas, lo que puede afectar su precisión [36].

- **MOBILENET-SSD**

MobileNet SSD es un algoritmo de detección de objetos que combina la arquitectura de red neuronal MobileNet y el detector de objetos en tiempo real SSD (Single Shot Multibox Detector). Es una red neuronal convolucional que se caracteriza por tener un alto rendimiento y baja complejidad computacional, que permite que se ejecute en dispositivos con recursos limitados, como teléfonos móviles [37].

Por otro lado, SSD es un algoritmo de detección de objetos que utiliza una única red neuronal para predecir las clases y las ubicaciones de los objetos en una imagen, en un solo paso. Esto hace que SSD sea más rápido que otros algoritmos de detección de objetos que utilizan dos redes separadas para realizar estas tareas [38].

MobileNet SSD aprovecha la eficiencia de MobileNet y la rapidez de SSD para crear un algoritmo de detección de objetos en tiempo real, que puede ejecutarse en dispositivos móviles, drones y otros dispositivos con recursos limitados.

- **FASTER R-CNN**

Es un algoritmo de aprendizaje profundo que utiliza una red neuronal convolucional para aprender características importantes de la imagen de forma automática.

La red de regiones se basa en una técnica llamada Region Proposal Network (RPN) que toma una imagen de entrada y produce un conjunto de regiones propuestas junto con un puntaje de confianza para cada una de ellas. Estas regiones se utilizan como entradas para el clasificador de objetos, que utiliza una CNN para extraer características de las regiones propuestas y clasificar los objetos en categorías específicas [39].

2.2.4.4 ALGORITMOS PRE-ENTRENADOS DE DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA POSTURA HUMANA

- **OPENPOSE**

OpenPose es un algoritmo que se basa en una red neuronal convolucional (CNN) el cual detecta hasta 24 puntos claves del cuerpo humano (ver Figura 4), como las

articulaciones, los huesos, manos y puntos claves faciales [41]. Estos puntos se utilizan para rastrear y estimar el movimiento y la posición del cuerpo en tiempo real. El algoritmo utiliza técnicas de aprendizaje profundo y de visión por computadora para mejorar la precisión y la velocidad del seguimiento.

OpenPose ha demostrado ser una herramienta poderosa y versátil para la detección y el seguimiento del cuerpo humano en imágenes y videos que ha encontrado aplicaciones en diversos campos de la ciencia y la industria [42].

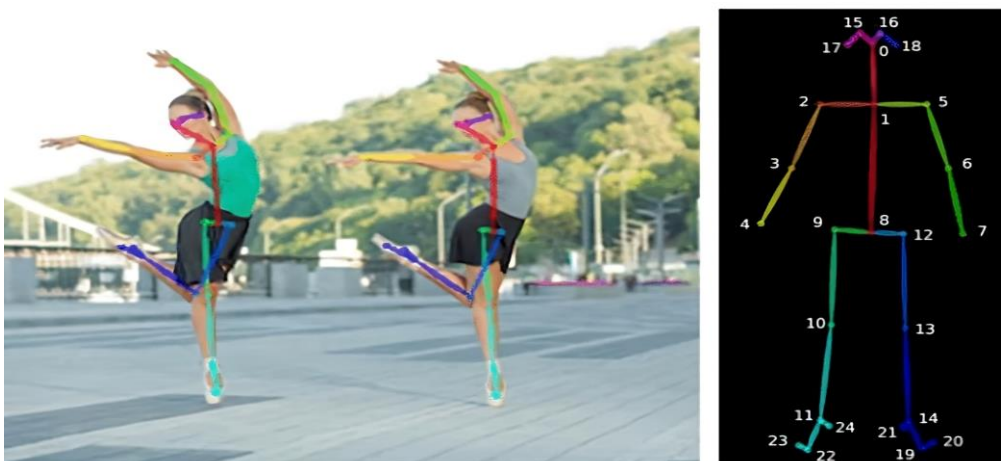


Figura 4 Puntos clave de OpenPose.

Fuente: [43]

- **POSENET**

PoseNet es una herramienta desarrollada en colaboración con Google y TensorFlow que permite detectar puntos clave en imágenes de una o varias personas. Actualmente, es capaz de detectar hasta 17 puntos clave (ver Figura 5). Es un modelo pre-entrenado que puede ser utilizado de manera gratuita desde el navegador o en dispositivos móviles. PoseNet funciona en dos fases para realizar su estimación [4]:

- Se proporciona una imagen RGB como entrada a una red neuronal convolucional.
- Se emplea un algoritmo decodificador para descifrar las poses, las puntuaciones de confianza de pose, las posiciones y las puntuaciones de confianza de los puntos clave que se encuentran en las salidas del modelo.

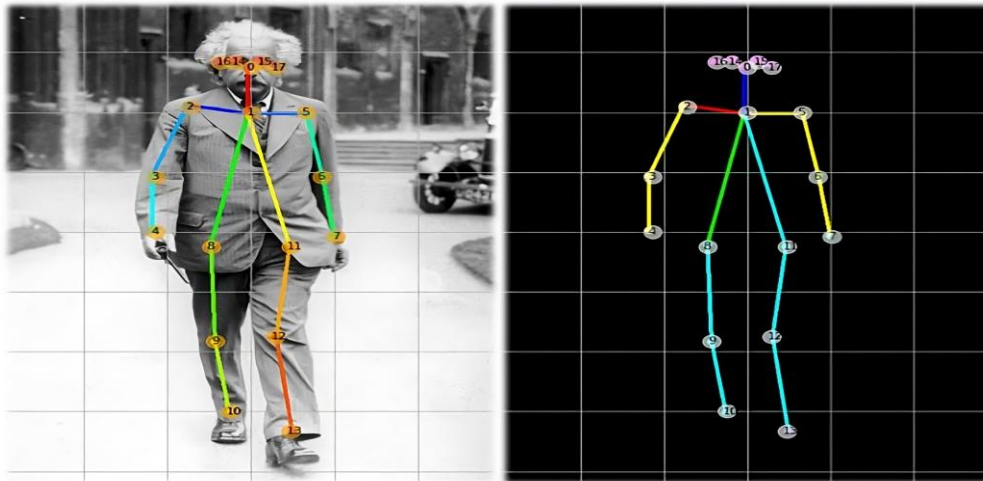


Figura 5 Puntos clave de PoseNet.

Fuente: [44]

- **BLAZE POSE (MEDIAPIPE POSE)**

MediaPipe Pose es una solución para el seguimiento y estimación de postura, utiliza un CNN para la detección y seguimiento de puntos clave llamada BlazePose. BlazePose es un modelo de estimación de poses que se encuentra dentro de la biblioteca MediaPipe, fue desarrollado por Google y ofrece soluciones de alta fidelidad de visión por computadora y aprendizaje profundo en tiempo real [34]. Además, utiliza una red neuronal convolucional (CNN) que tiene una arquitectura de red basada en el modelo EfficientNet. Esta red es una arquitectura de red escalable que se puede ajustar a diferentes tamaños y resoluciones de la imagen. La red de BlazePose utiliza una entrada de imagen RGB y devuelve una lista de 33 puntos clave de pose en 3D del cuerpo humano a partir de imágenes o videos [45] (ver Figura 6). Principalmente, utiliza la técnica denominada detección de puntos de referencia de múltiples etapas, que se basa en la detección de características en varias escalas y la combinación de varias capas de la red para obtener una detección precisa y confiable [46].

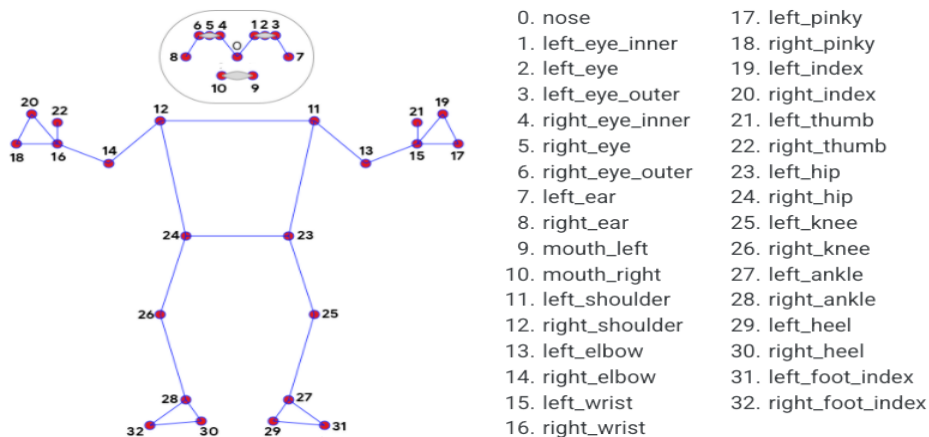


Figura 6 Puntos clave de BlazePose.

Fuente: [34]

El proceso que utiliza BlazePose para el procesamiento de imágenes es:

- **Preprocesamiento:** la imagen de entrada se procesa para convertirla en formato compatible con el modelo, BlazePose utiliza un tamaño de 256 x 256 píxeles. También, normaliza los valores de los píxeles, es decir, se ajusta los valores para que estén dentro del rango específico. La normalización puede incluir también otras transformaciones como la inversión de color, cambio de brillo o contraste, entre otros.
- **Detección de puntos de referencia:** utiliza una CNN para detectar los puntos clave, esta red se entrena con millones de imágenes de posturas humanas y aprende a identificar patrones y características comunes en la imagen. Durante la detección de puntos el modelo examina la imagen de entrada en pequeñas regiones llamadas “ventanas deslizantes”, en cada ventana el modelo busca patrones que corresponden a los puntos de referencia.
- **Inferencia de la pose:** utiliza los puntos detectados en la fase anterior para inferir la postura completa. Crea líneas para la conexión entre puntos, estas líneas se basan en la anatomía humana y son fijas.
- **Postprocesamiento:** se aplican técnicas de suavizado sobre la pose detectada. Además, utiliza el filtro de mediana para eliminar valores atípicos de la pose detectada.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el presente proyecto de investigación se plantea la implementación de un sistema que permita el monitoreo de la postura y la corrección de esta mediante la notificación al brazalete del patinador, también un sistema de medición de la velocidad por medio de técnicas de procesamiento de imágenes con visión artificial, como apoyo en el entrenamiento del patinaje de velocidad en la escuela de patinaje “Chimborazo Skate”. Para su desarrollo, se utiliza una investigación de tipo experimental y descriptiva basada en técnicas de Inteligencia Artificial juntamente con el procesamiento de imágenes, con el objetivo de que el sistema implementado mejore la velocidad y postura de los patinadores. El sistema se verificará mediante el análisis de los resultados obtenidos de la Evaluación de Rendimiento (ver Anexo E), ejecutado por el entrenador de la escuela de patinaje.

Finalmente, los resultados son obtenidos por medio de indicadores mixtos, es decir, cuantitativos y cualitativos.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación está diseñado en base a cuatro fases como se muestra en la Figura 7.

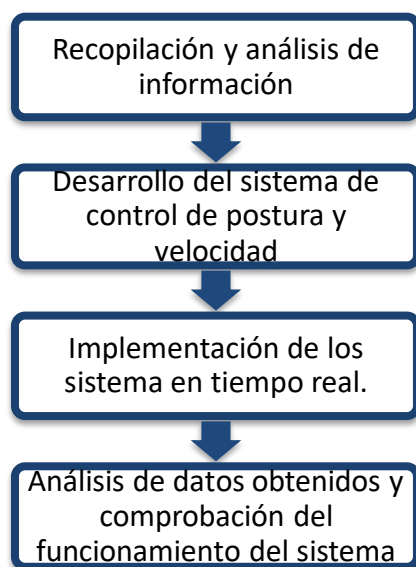


Figura 7 Diseño de la investigación.

En la primera fase se realizó una recopilación y análisis de información acerca de estudios o investigaciones de estimación de postura en tiempo real que hagan uso de técnicas de procesamiento de imágenes en diferentes deportes y tengan un aporte al sistema propuesto. Una vez terminada la parte investigativa y con un análisis de los mejores algoritmos que se pueden usar para estimación de postura y detección de objetos, se procedió a desarrollar el sistema, el cual se dividió en dos subsistemas, en el primero se hizo uso de algoritmos de visión artificial ya entrenados, para la detección y control de postura en los patinadores; y

en el segundo se desarrolló el sistema para la medición de velocidad a través del algoritmo de detección de objetos.

Luego, en la tercera fase se llevó a cabo la implementación del sistema en la pista de patinaje de la escuela, el cual es capaz de detectar y corregir en tiempo real los movimientos del patinador. Finalmente, en la última fase se desarrolló un análisis de los datos obtenidos del sistema por medio de las variables estudiadas en los patinadores permitiendo comprobar el funcionamiento del sistema implementado y la contribución a la mejora del rendimiento de los patinadores.

3.3 MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación de tipo experimental se define como un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se originen (variable dependiente) [47]. La utilización de este método permite la observación y manipulación de varias variables de estudio, por lo que se ha optado en su uso, para la implementación del sistema.

3.3.2 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

Este tipo de investigación tiene como fin explicar algunas características fundamentales de la población o fenómeno estudiado, emplea criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes [48].

La investigación descriptiva se divide en varios métodos, donde, la observación es la más eficaz para llevar a cabo la investigación descriptiva, dado que utiliza tanto las variables cuantitativas como cualitativas [49]. A través del uso del método descriptivo se realizó un análisis de los datos obtenidos permitiendo saber si la herramienta de apoyo implementada mejora las capacidades del patinador como son la velocidad y postura.

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

En el desarrollo del proyecto se realizó una revisión sistemática de la literatura a través de la recopilación y búsqueda de información en diferentes bases de datos científicas y bibliotecas virtuales como:

- Proquest
- IEEE Xplorer
- Scopus
- Springer

En las cuales, se llevó a cabo una búsqueda, revisión y análisis de trabajos sobre el patinaje de velocidad, técnicas de procesamiento de imágenes con algoritmos de visión por computadora, biomecánica en el patinaje y todo lo concerniente al proyecto investigación para su desarrollo.

3.4.2 INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se realizó un test de evaluación (ver Anexo E) como instrumento de recolección de datos, dicho test cuenta con los datos de velocidad, tiempo, distancia, resistencia, técnica y postura de cada patinadora antes y después de la implementación del sistema.

3.5 POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE LA MUESTRA

3.5.1 POBLACIÓN

La escuela de patinaje “Chimborazo Skate” divide a los estudiantes en tres grupos: principiantes, intermedios y avanzados, de los cuales por recomendación del entrenador se decidió trabajar con los grupos de patinadores intermedio (3 patinadores), y avanzados (2 patinadores). No obstante, debido a lesiones y retiros esporádicos del grupo de avanzado, únicamente se trabajó con tres patinadoras del grupo intermedio.

Por lo tanto, la población está compuesta por los datos generados por las 3 patinadoras pertenecientes al grupo intermedio. Obteniendo de cada una de ellas 5 datos: postura, técnica, tiempo, resistencia y velocidad. Los datos fueron recolectados en dos fases: antes de la implementación del sistema como primera fase y la segunda fase al finalizar un mes de entrenamiento con el sistema implementado. Permitiendo así analizar si existe alguna variación en su rendimiento. Con el fin de conocer información fundamental de las patinadoras, se llevó a cabo una encuesta informativa (Anexo D).

Cada fase tuvo una duración de 2 semanas donde, cada día obtuvimos datos de velocidad, distancia, tiempo, postura y técnica. En la primera semana de cada fase se recolectó dos datos de cada variable por patinadora y la segunda semana 1 dato de cada variable por patinadora. Teniendo así 30 datos por patinadora de cada variable. La Tabla 4, describe la composición de la población.

Tabla 4 Distribución de la Población.

Patinadora	Datos de velocidad por fase	Datos de tiempo por fase	Datos de Resistencia por fase	Datos de Técnica por fase	Datos de Postura por fase	Total, de datos por fase	Número total de datos (en 2 fases)
I.M	15	15	15	15	15	75	150
S.O	15	15	15	15	15	75	150
M.I	15	15	15	15	15	75	150
Total	45	45	45	45	45	225	450

3.5.2 MUESTRA

En la presente investigación se recopilamos 450 datos en total. Correspondientes a las variables de velocidad, tiempo, postura, técnica y resistencia; cada variable aporta con 90

datos, siendo estos considerados como la población de la investigación. Cuya población se considera finita, por consiguiente, el cálculo para la muestra está dada en la Ecuación 1:

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Ecuación 1

En donde:

n = Tamaño de muestra.

Z = Es el nivel de confianza. Este parámetro la mayoría de las veces tiene el valor del 95%, es decir en términos de desviaciones típicas, $Z=1.96$.

e = El Margen de error para esta investigación se determina 5% de margen de error. Para que un resultado confiable.

N = El tamaño de la población.

P = El porcentaje de probabilidad que ocurra el evento estudiado el cual es de 50% = 0.5.

Q = El porcentaje de probabilidad que no ocurra el evento estudiado el cual es de 50% = 0.5.

Entonces, a partir de las variables explicadas en la ecuación anterior, se calcula el tamaño de la muestra en la ecuación 2.

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 90}{0.05^2 * (90 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

Ecuación 2

$$n = 73.07 \approx 73$$

Por lo tanto, el tamaño de muestra en la presente investigación es de 73 muestras. El tamaño de muestra calculado es pequeño para realizar el análisis por lo tanto se optó por desarrollar el análisis con todos los datos recolectados.

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la Tabla 5, se detalla las variables independientes y dependientes que fueron estudiadas en la investigación.

Tabla 5 Operacionalización de variables del Sistema de control de postura y velocidad.

VARIABLES DEPENDIENTES (VD)	VARIABLES INDEPENDIENTES (VI)	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Postura	Técnica	VD. Correcto posicionamiento entre las extremidades y el tronco al momento de ejecutar movimientos por parte del patinador. VI. Conjunto de movimientos ejecutados con destreza y habilidad en el patinador- se requiere usar estos procedimientos para lograr un óptimo rendimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Optima • Buena • Regular • Deficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Test de evaluación • Técnica con cámara por medio de procesamiento digital de imágenes. • Cronómetro
		VD. Es la velocidad alcanzada por el patinador en una vuelta. VI. Magnitud física, utilizada para medir el tiempo por vuelta del patinador. VI. Capacidad física que permite al patinador realizar una actividad durante el mayor tiempo posible.	<ul style="list-style-type: none"> • Medido en Km/h o m/s • Segundos. 	
Velocidad	Tiempo			
	Resistencia		<ul style="list-style-type: none"> • Optima • Buena • Regular • Deficiente 	

3.7 MÉTODOS DE ANÁLISIS, Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

3.7.1 DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO

El proyecto de investigación se divide en tres partes: el primero el desarrollo del sistema de control de postura el cual es un control de lazo cerrado [50], ya que se compara la postura obtenida del patinador con la postura deseada enviando una notificación al circuito del NRF24L como retroalimentación del sistema, seguido por el sistema de estimación de velocidad y finalmente por el diseño e implementación del tablero digital. Los dos primeros sistemas se llevaron a cabo a través de una interfaz gráfica con el software Pycharm que por medio de la librería TelloPy, permite la adquisición de video en tiempo real del dron Dji Tello. Los datos de video se transmiten a través de una conexión WiFi, lo que permite que los sistemas realicen el procesamiento de video.

3.7.1.1 INTERFAZ GRÁFICA GUI

La interfaz gráfica GUIDE se realizó en el software Pycharm con el lenguaje programación Python, por medio de las librerías Tkinter. La ventana principal del sistema cuenta con tres botones que son: Control de Postura, Control de Velocidad y Botón de Apagado. En la Figura 8 se visualiza el contenido de la interfaz gráfica GUIDE.

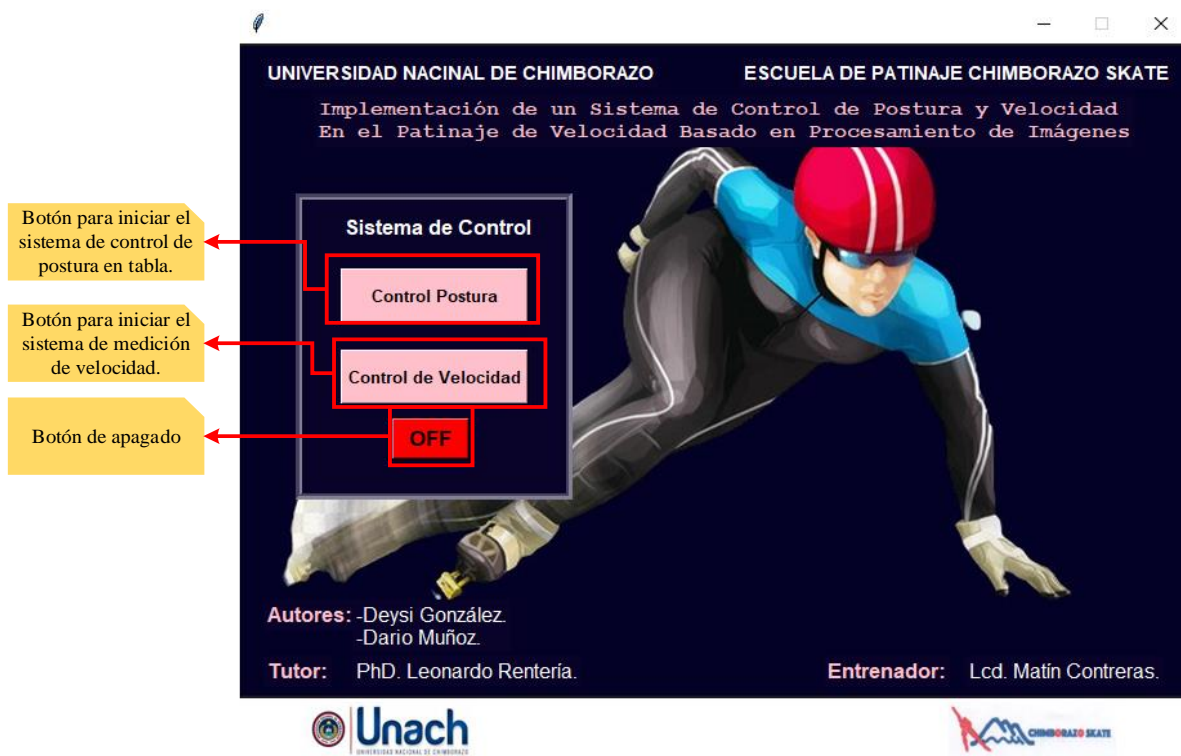


Figura 8 Interfaz gráfica principal del proyecto.

3.7.1.2 SISTEMA DE CONTROL DE POSTURA

Adaptación del Dron al espacio.

Antes de iniciar con el desarrollo del sistema de control de postura, fue necesario experimentar y establecer la distancia y altura correctas del dron hacia la patinadora. En la Figura 9, se muestra las medidas exactas para detectar correctamente a la persona.

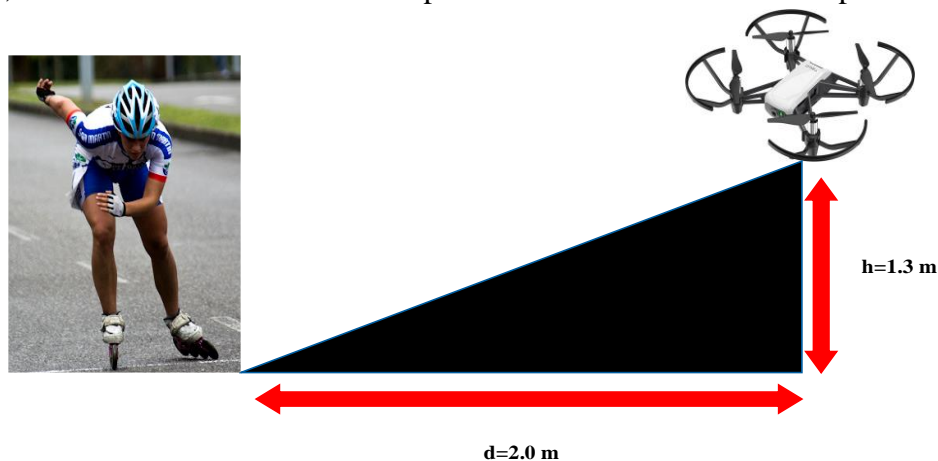


Figura 9 Posición del Dron con respecto al patinador

El dron Dji Tello cuenta con una cámara HD que puede capturar videos y fotos de alta calidad. Además, este se puede programar mediante varios lenguajes de programación como Python, Scratch, entre otros; para realizar diferentes tareas, como volar en patrones específicos, tomar fotos y videos; y aplicar técnicas de visión artificial y redes neuronales.

Cuenta con una red Wifi 802.11n de 2.4GHz incorporada que puede enviar y recibir datos a una velocidad máxima de 150 Mbps a una distancia de 100 metros. La cual permite conectar al dron con dispositivos móviles como ordenadores [51].

Tabla 6 Especificaciones de la cámara del Dron.

DESCRIPCIÓN	DETALLES
Distancia de alcance	100 m
Peso	87 g
Resolución del video	1280 x 720P
Frecuencia de banda	2.4 – 2.4835 GHz
Cámara HD	5MP
Velocidad máxima de cuadro	30 fps
Máxima resolución de imagen	2592 x 1936 P
Tiempo máximo de vuelo	13 min

Estudio de los diferentes algoritmos pre-entrenados de estimación de postura

En base a la revisión de la literatura, el primer paso en el desarrollo del sistema de control de postura fue realizar un estudio y análisis de los algoritmos pre-entrenados, para seleccionar el que mejor se adapte al sistema (ver Tabla 7).

Tabla 7 Comparación entre Algoritmos de Detección de Poses.

DESCRIPCIÓN	BLAZE POSE	OPEN POSE	POSENET
Velocidad de procesamiento	140 fps	22fps	30fps
Mayor tiempo de ejecución	NO	SI	SI
Procesamiento de vídeos de entrada en tiempo real	SI	NO	SI
Puntos de referencia (Keypoints)	33	24	17
Mejor respuesta a iluminación desfavorable	SI	NO	NO
Mejor precisión al detectar los puntos de referencia.	SI	NO	NO
Máxima resolución de imagen	SI	SI	SI
Tasa de precisión %	96.0 – 97.5	92.4 – 96.9	90.7 – 93.6

Con base a la información de la Tabla 7, se evidencia que BlazePose de MediaPipe es el modelo que mejor se adaptó al sistema, debido a que cuenta con mejores resultados evidenciando una mejor velocidad de procesamiento, menor tiempo de ejecución, procesamiento en tiempo real y sobre todo predice la mayor cantidad de puntos clave (33 puntos clave); con base a ello se muestran algunas características del modelo.

BlazePose utiliza varios filtros y procesos para mejorar la precisión y la estabilidad de la detección de la pose del cuerpo humano, incluyendo filtros de confianza, suavizado temporal y orientación. Todos estos filtros y procesos trabajan juntos para proporcionar una detección precisa y estable de la pose del cuerpo humano en tiempo real[12].

- **Filtro de confianza:** es utilizado en la etapa de detección de puntos de anclaje, donde el algoritmo identifica los puntos clave del cuerpo humano en una imagen. Para cada punto detectado, se calcula un valor de confianza que indica la probabilidad de que el punto esté en la posición correcta. Si el valor de confianza es demasiado bajo, el punto se descarta y no se utiliza en el cálculo de la pose del cuerpo humano.
- **Suavizado temporal:** permite mejorar la estabilidad de la pose del cuerpo humano en el tiempo, debido a que los puntos de anclaje pueden variar ligeramente de un fotograma a otro.

Desarrollo del sistema de estimación de postura

Luego de establecer el algoritmo pre-entrenado, se realizó la instalación de las librerías en el software Pycharm y finalmente se procedió a la lectura del video en tiempo real y a la aplicación del modelo de estimación de posturas. El modelo de MediaPipe consta de tres fases, la primera trata de la detección de la imagen de entrada, en la segunda se obtiene los puntos clave a través de MediaPipe y, por último, en la tercera fase utiliza CNN para en la salida obtener la imagen con estimación de postura (ver Figura 10).

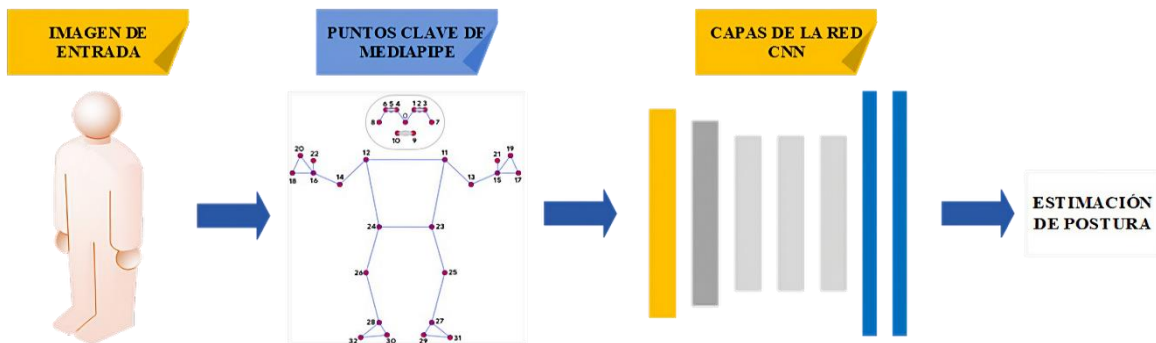


Figura 10 Diagrama base de estimación de postura de MediaPipe.

El proceso para el procesamiento de imágenes en tiempo real de sistema para la detección de postura es:

- Adquiere el video de entrada generado por la cámara.
- Lee el video entregado por la cámara y procesa, convierte los cuadros de video a RGB para poder procesarlos con mediapipe.
- Detecta la postura en el cuadro de video con el método `pose.process(image)` y obtiene los datos de las posiciones de las articulaciones.
- Convierte la imagen de RGB a BGR para que sea compatible con Open CV y extrae las coordenadas de los puntos de referencia de la postura detectada.
- Dibuja los puntos de la pose utilizando la función `mp_drawing.draw_landmarks`.
- Finalmente muestra la imagen procesada en tiempo real.

El modelo permite modificar parámetros con la finalidad de que se adapte a las necesidades del proyecto. A continuación, se muestra los parámetros que se utilizó:

- **Static_image_mode:** es un valor booleano (True/False), por defecto se inicializa en Falso, que representa que tratará a la información de entrada en formato de

video, sin embargo, si el parámetro se modifica a True, entonces se tratará la información de entrada como imagen.

- **Min_etection_confidence:** este parámetro establece el valor de umbral del nivel de confianza y oscila de 0.0 a 1.0, el valor predeterminado para el nivel de confianza en lectura de video es 0.5.

En la Figura 11, se muestra el diagrama de flujo para el desarrollo y programación del sistema de control de postura.

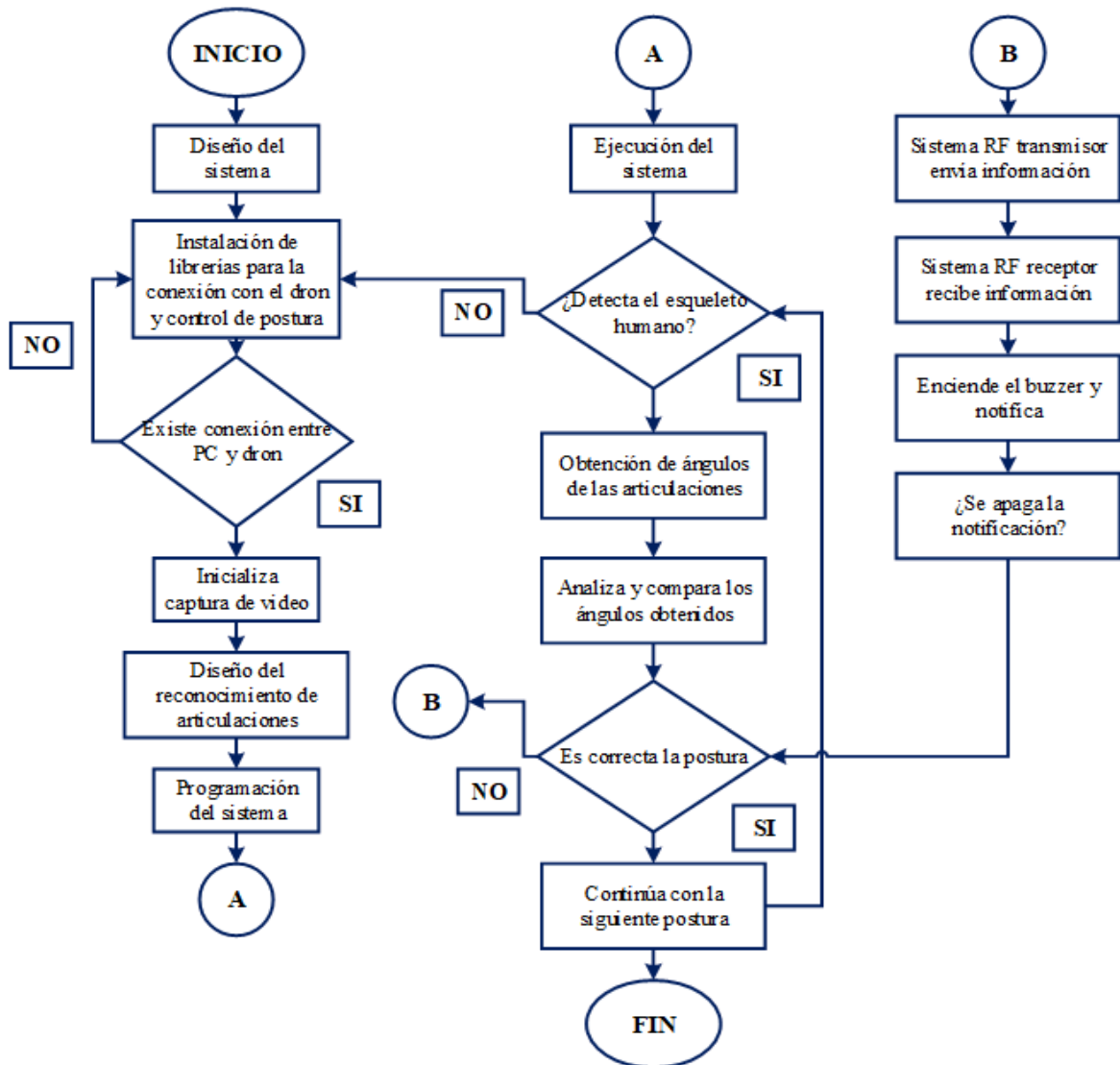


Figura 11 Diagrama de flujo del sistema

Estudio en Tabla

Es fundamental realizar el sistema de control de postura en la tabla deslizante debido a que permite observar los movimientos pausados de cada articulación y un mejor control de cada uno de ellos. A continuación, la Figura 12 se muestra el proceso general que se realizó para la detección y control de postura.

El sistema permite capturar los movimientos del patinador a través de la cámara del dron en movimiento, el video se visualiza inmediatamente en la computadora, que se encarga de

procesar la información de entrada y detecta en tiempo real las articulaciones del cuerpo del patinador, también realiza el control de la postura mediante los ángulos de brazos y piernas, en caso de que el patinador ejecute mal un movimiento el circuito electrónico envía una notificación al brazalete que se encuentra colocada en el brazo del patinador.

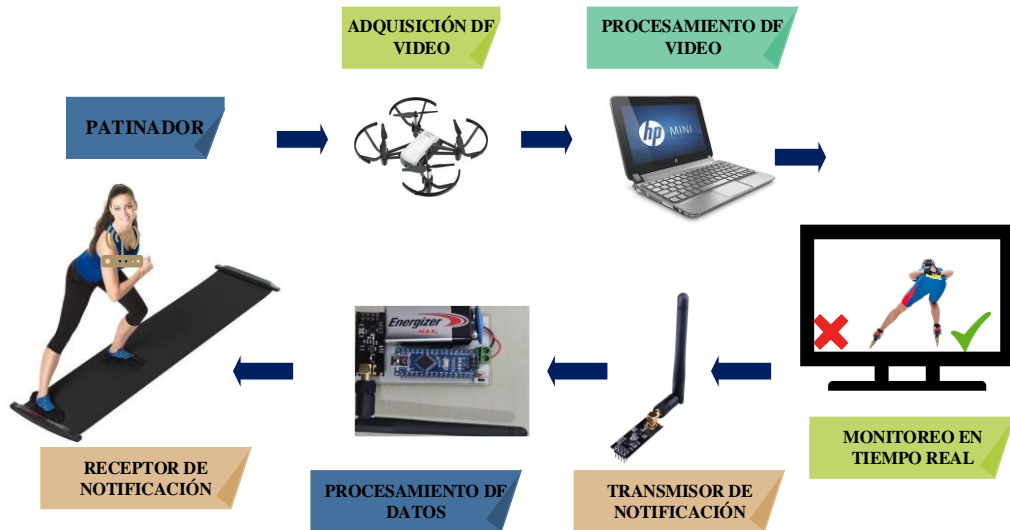


Figura 12 Proceso de control de postura en tabla.

La parte principal del sistema es la detección y corrección de postura por ello para el análisis en tabla se establecieron cuatro fases, que incluyen la fase de preparación y deslizamiento ejecutada con las dos piernas, por lo que el conjunto de estas da como resultado las cuatro fases que comprenden a un ciclo completo y repetitivo (ver Figura 13).

Fases del sistema en tabla

Una vez determinadas las fases, se analizaron cada una de las fotografías para obtener los ángulos de brazos y piernas. La falta de estudios de la biomecánica del cuerpo del patinador en cada fase originó que se trabaje con una patinadora profesional, quien sirvió como modelo de referencia para obtener los ángulos de las articulaciones de brazos y piernas.

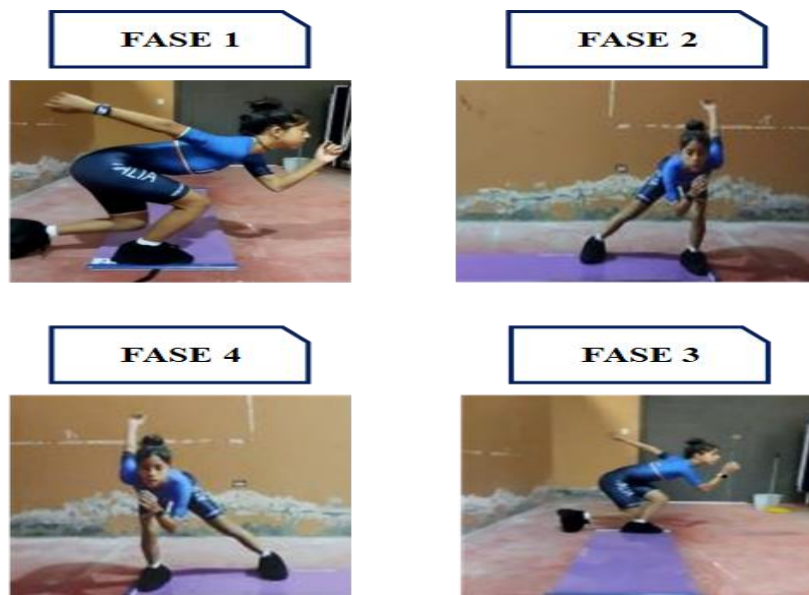


Figura 13 Fases del sistema en tabla.

Una vez determinada las fases, se analizaron cada una de las fotografías para obtener los ángulos de referencia. Para calcular el ángulo de brazos y piernas se utilizó la función trigonométrica arco tangente que dados los valores de las coordenadas de cada punto de referencia X e Y, devuelve el ángulo α , expresado en radianes y transformado a grados.

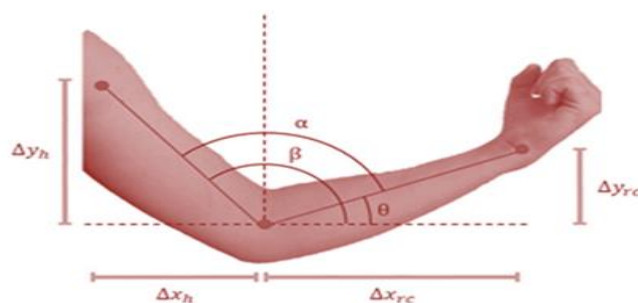


Figura 14 Obtención del ángulo del codo

Fuente:

$$\beta = \text{ArcTan}\left(\frac{\Delta Y_h}{\Delta X_h}\right)$$

Ecuación 3

$$\theta = \text{ArcTan}\left(\frac{\Delta Y_{rc}}{\Delta X_{rc}}\right)$$

Ecuación 4

$$\alpha = \beta - \theta$$

Ecuación 5

En donde β es el ángulo del humero y θ es el ángulo del radio y restando los dos ángulos anteriores obtenemos α que es el ángulo de apertura del codo. Por otro parte, ΔX y ΔY son los incrementos en cada articulación. De igual forma se realizó el mismo cálculo para el resto de las extremidades, obteniendo los ángulos de referencia como se muestra en la Figura 15.

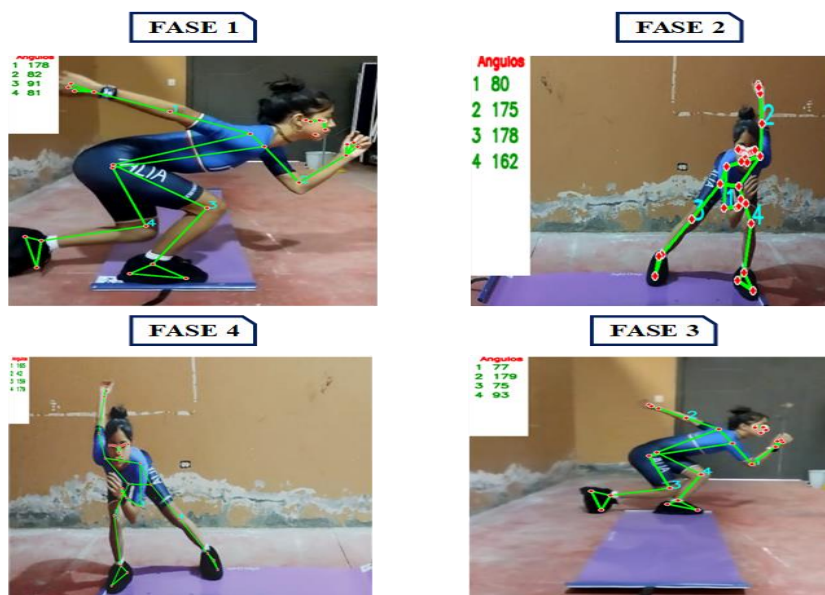


Figura 15 Detección de ángulos en cada Fase.

Detección de ángulos en cada Fase.

En la Figura 15, se muestra el resultado de la detección de postura y la obtención de los ángulos en cada fase, que posterior fueron utilizados para el análisis en tiempo real.

La fase 1, es la fase de preparación con pierna derecha, en esta fase se trabajó con los siguientes ángulos:

Tabla 8 Determinación de los ángulos Fase 1.

FASE 1	Brazo derecho	Brazo izquierdo	Pierna derecha:
Ángulos	170° - 180°	30° - 50°	90° - 110°

En la fase 2, fase de deslizamiento con pierna derecha, se trabajó con los siguientes ángulos:

Tabla 9 Determinación de los ángulos Fase 2.

FASE 2	Brazo derecho	Brazo izquierdo	Pierna derecha:
Ángulos	30° - 50°	170° - 180°	160° - 180°

En la fase 3, fase de preparación con pierna izquierda, se trabajó con los siguientes ángulos:

Tabla 10 Determinación de los ángulos Fase 3.

FASE 3	Brazo derecho	Brazo izquierdo	Pierna izquierda:
Ángulos	30° - 50°	170° - 180°	90° - 110°

Por último, en la fase 4, fase deslizamiento con la pierna izquierda, se trabajó con los siguientes ángulos:

Tabla 11 Determinación de los ángulos Fase 4.

FASE 4	Brazo derecho	Brazo izquierdo	Pierna izquierda:
Ángulos	170° - 180°	30° - 50°	160° - 180°

Una vez obtenido, los ángulos de referencia para cada fase se estableció un rango de +- 10 en cada articulación. Se procedió a realizar un ciclo para cada fase, donde, el sistema mostrará la imagen de referencia, en la esquina superior izquierda de la pantalla del video

en tiempo real de la primera fase (ver Figura 16). El patinador realiza los movimientos de la primera fase y si los ángulos de las articulaciones son correctos, el sistema notifica en la pantalla que los ángulos son correctos y tarda 2 segundos en retener el movimiento y seguidamente permite pasar a la fase 2 y así hasta llegar a la fase 4 y repetir el ciclo. Pero en caso de que en alguna fase el patinador ejecute una mala postura y por consiguiente los ángulos de las articulaciones sean incorrectos, el sistema notifica en pantalla y a través del circuito RF que está realizando una mala postura. La notificación deja de mostrarse, cuando el patinador corrija la postura.



Figura 16 Pantalla principal del Sistema de Control de Postura

En la Figura 17, se puede observar cómo funciona el sistema en cada patinadora. Sin embargo, en la primera semana fue de adaptación, puesto que fue complicado la utilización para las patinadoras, pero a partir de la segunda semana ya conocían el sistema y fue mucho más fácil entrenar con él.

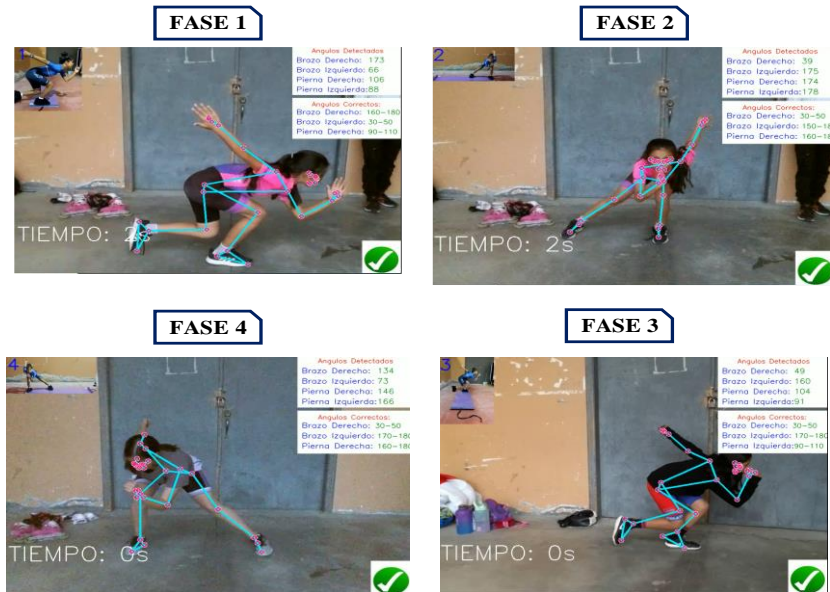


Figura 17 Funcionamiento del Sistema.

Diseño de la placa Dispositivo de notificación

Para realizar la corrección de postura en tiempo real, fue necesario la utilización del módulo NRF24L01 programado en Arduino (ver Anexo G), que permite la transmisión y recepción

de datos en distancias largas, el módulo transmisor fue conectado al computador para que el programa envíe los datos y de manera inmediata lleguen al receptor, que fue colocado en un brazalete en el brazo del patinador, el receptor recibe los datos y enciende el buzzer, indicando al patinador que está ejecutando una mala postura. Esta notificación se apaga automáticamente cuando el patinador ejecute bien la postura.

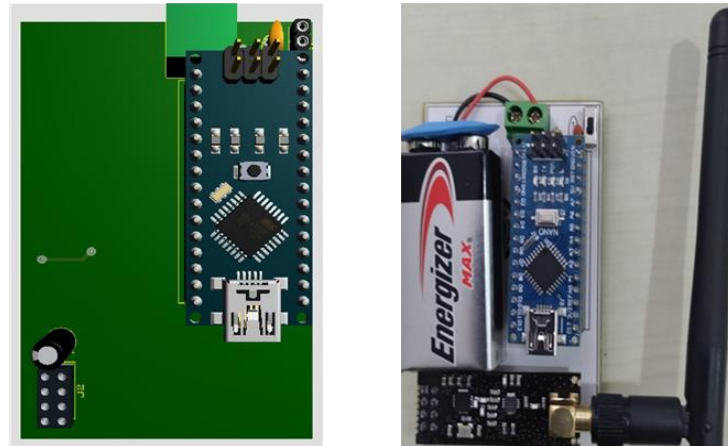


Figura 18 Diseño de la placa RF.

3.7.1.3 SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD

Para el desarrollo del Sistema de control de velocidad que permite el cálculo de velocidad del patinador fue necesario el uso de un algoritmo de detección de objetos que permita identificar al deportista. En esta parte del proyecto de investigación como punto de partida también se realizó una revisión de la literatura, en la cual se analizó varios algoritmos pre-entrenados de detección de objetos.

Estudio de los diferentes algoritmos pre-entrenados de detección de objetos

MobileNet-SSD es el algoritmo idóneo para la detección de objetos en este proyecto debido a que es una arquitectura de red neuronal profunda especialmente diseñada para su uso en dispositivos móviles con recursos limitados de procesamiento y memoria, lo que la hace adecuada para el procesamiento en tiempo real de imágenes de video. Se consideraron otras opciones, como YOLO y Faster R-CNN, pero se encontró que MobileNet SSD ofrecía un equilibrio adecuado entre velocidad y precisión en la detección de objetos puesto que tiene un modelo más pequeño y ligero que YOLO y Faster R-CNN, también. MobileNet SSD es más preciso que YOLO en la detección de objetos pequeños y detallados, aunque YOLO es más rápido. MobileNet SSD Iguala a Faster R-CNN en precisión por su función de escala múltiple y cuadros predeterminados utilizando imágenes de menor resolución. Además, que Faster R-CNN es más computacionalmente costoso.

Tabla 12. Comparativa de Algoritmos pre-entrenados de detección de objetos

Algoritmo	Resolución de entrada	Número de cajas	FPS (en GPU)	Precisión (test mAP)	Test time por imagen
MobileNet SSD	300x300	Varias cajas por clase	22-46	77.2	15-30 ms

YOLOv5	640x640	Una caja por objeto	150-300	50.7	10-20 ms
Faster R-CNN	Variable	Varias cajas por clase	5-20	73.2	200-500 m

MobileNet-SSD se divide en dos partes: la red MobileNet y la red de detección de objetos basada en SSD. A continuación, se detallan las etapas de ambas partes de la red:

Etapas de la red MobileNet:

La red MobileNet es una red neuronal convolucional profunda que tiene como objetivo reducir la cantidad de parámetros que deben entrenarse en una red convolucional típica, sin comprometer la precisión. Para lograr esto, MobileNet utiliza dos técnicas principales:

- **Filtros de profundidad separable:** en una red convolucional típica, cada filtro se aplica a todos los canales de entrada. En MobileNet, en cambio, se utilizan dos tipos de filtros: un filtro de profundidad separable (depthwise separable filter) que se aplica a cada canal de entrada de manera individual, seguido de un filtro de punto (pointwise filter) que se aplica a través de los canales resultantes del filtro de profundidad separable. Esto reduce significativamente la cantidad de parámetros que deben ser entrenados en comparación con una convolución típica, donde cada filtro se aplica a todos los canales de entrada.
- **Filtro de punto:** este filtro es una convolución que utiliza un kernel de tamaño 1x1. A diferencia del filtro de profundidad separable, que se utiliza para reducir el costo computacional de la convolución, el filtro de punto se utiliza para aumentar la profundidad de la red neuronal. La convolución punto a punto toma la salida de la convolución espacial y la convierte en un nuevo conjunto de mapas de características con un número diferente de canales.

Etapas de la red de detección de objetos basada en SSD:

La red de detección de objetos basada en SSD (Single Shot MultiBox Detector) se utiliza para detectar objetos en una imagen. Esta red se basa en la detección de características de diferentes escalas y aspectos en la imagen.

- **Etapas de extracción de características:** en esta etapa, se utilizan varias capas convolucionales para extraer características de diferentes escalas y aspectos de la imagen de entrada.
- **Etapas de detección:** se utilizan las características extraídas para detectar objetos en la imagen. Para ello, se generan diferentes mapas de características que corresponden a diferentes escalas y aspectos, y se utilizan filtros (conocidos como cajas delimitadoras o bounding boxes) para identificar objetos en cada uno de los mapas de características.
- **Fusión de detecciones:** finalmente, las detecciones generadas en cada uno de los mapas de características se fusionan para generar la detección final de los objetos en la imagen.

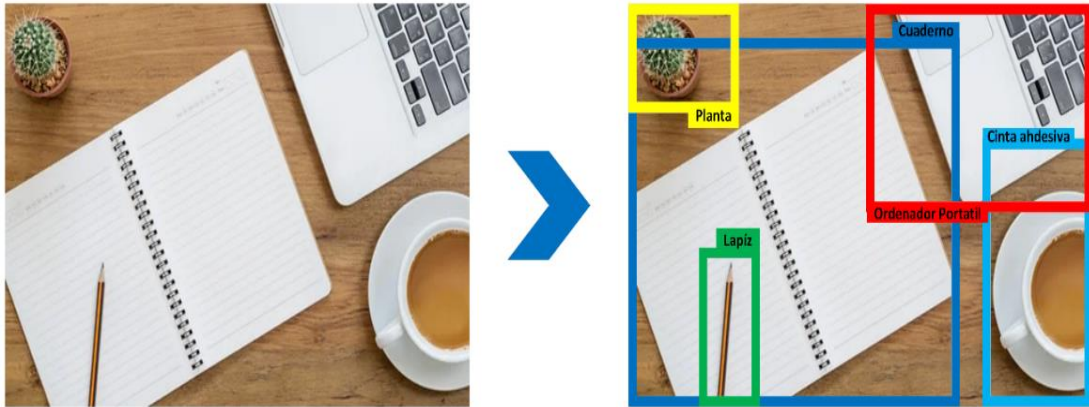


Figura 19 MobileNet SSD detección de objetos.

El proceso de MobileNet-SSD para la detección de objetos empieza por el preprocesamiento de imágenes donde redimensiona el tamaño de la imagen a 300 x 300 píxeles la cual pasa a través de la red neuronal convolucional MobileNet donde extrae las características de la imagen por medio de una capa de detección que localiza objetos en la imagen. Esta capa utiliza varias cajas delimitadoras de diferentes tamaños y relaciones para cubrir la imagen totalmente. Para cada caja delimitadora, la capa de detección predice la probabilidad de que un objeto esté presente dentro de esa caja y las coordenadas de la caja que rodea al objeto para luego realizar el proceso de supresión de no máximos el cual elimina detecciones redundantes y mejorar la precisión en la detección de objetos [52].

A continuación, la Figura 20 muestra cada etapa del procesamiento de imágenes de MobileNet-SSD.

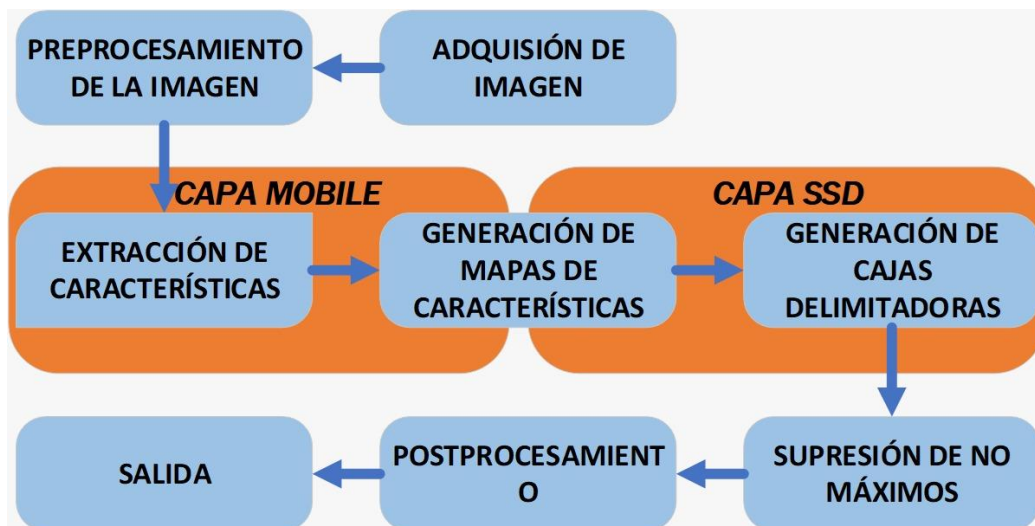


Figura 20 Etapas del procesamiento de imágenes de MobileNet-SSD

Implementación del algoritmo MobileNet-SSD

Para la implementación de este modelo se utilizó la biblioteca de visión por computadora OpenCV. La implementación involucra la carga del modelo pre-entrenado utilizando la función "cv2.dnn.readNetFromCaffe()", que lee los archivos de configuración de prototipo

y de pesos. Después, se preprocesa el cuadro de video utilizando la función "cv2.dnn.blobFromImage()" para realizar un escalado, una sustracción de media y una normalización. A continuación, se utiliza la función "net.forward()" para detectar objetos en la imagen preprocesada y generar una lista de detecciones.

Para la implementación del programa se establecieron variables que permiten el cálculo de la velocidad de las personas detectadas en una pista de patinaje. En particular, se definió la distancia de 200 metros que es la longitud total de la pista de patinaje y se estableció una línea divisoria en la mitad de la imagen adquirida. Si se detecta una persona en la imagen, se utiliza la técnica de detección de objetos SSD para identificar y localizar la persona en la imagen. Se comprueba si la persona ha cruzado la línea predefinida y, en caso afirmativo, se actualizan las variables de conteo y se calcula el tiempo de cruce y la velocidad.

A continuación, se muestra en la Figura 21, el diagrama de flujo de la codificación realizada, en el cual se calcula la velocidad por vuelta, tiempo de la última vuelta y el número de vuelta.

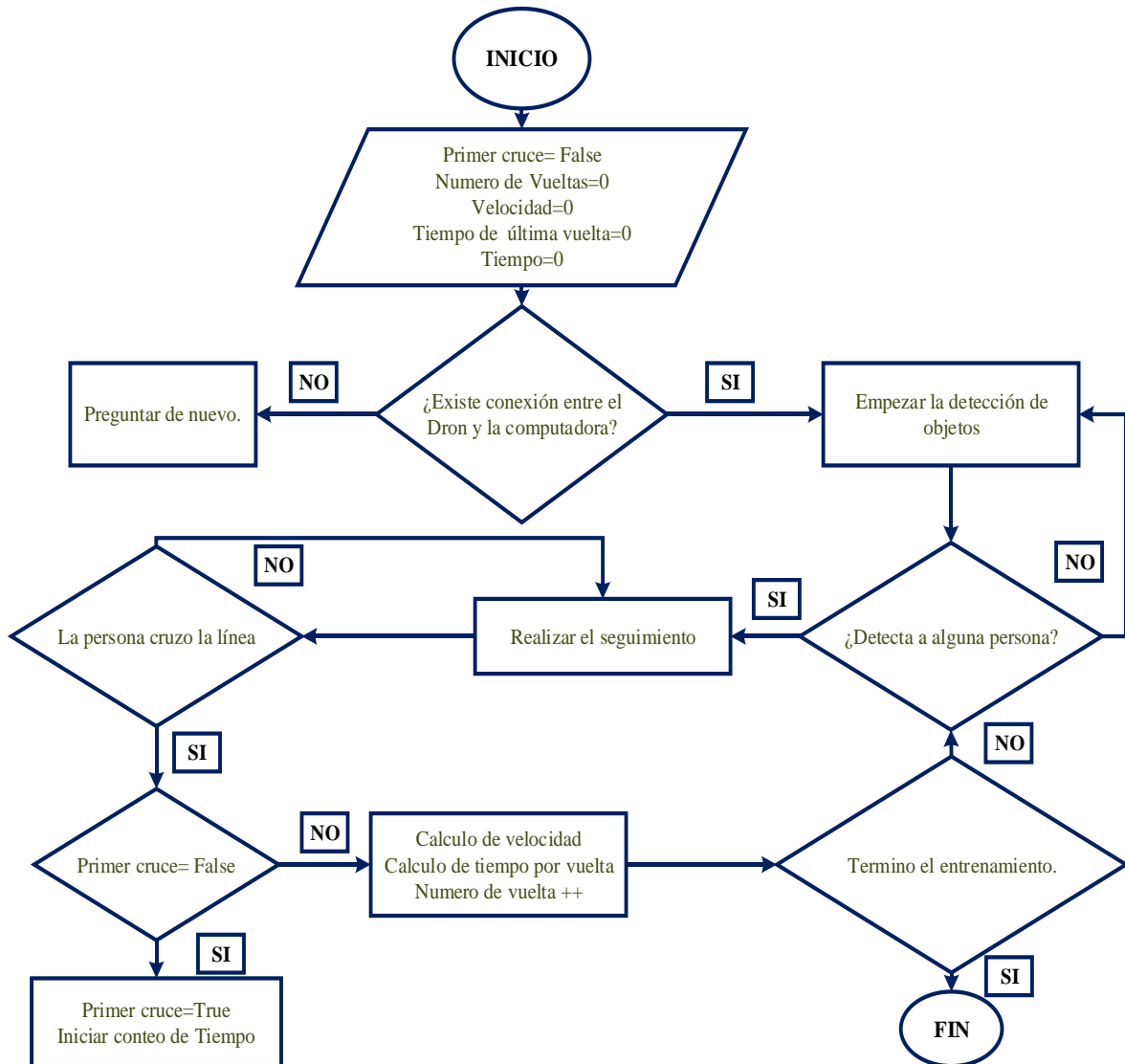


Figura 21 Diagrama de flujo para el Sistema de Control de Velocidad.

Para el desarrollo del código del sistema de velocidad se tomó en cuenta parámetros para que se adapte a las necesidades del sistema.

- **Parámetro confidence:** Este parámetro define la confianza de la detección de un objeto en la imagen, toma un valor entre 0 y 1. Para el proyecto se utilizó un valor de confianza mayor del 80% es decir 0.80 siendo esta la probabilidad de que sea correcta la detección. Esto se logra por medio de la siguiente línea de código:

if confidence > 0.80:

- **Parámetro class_id:** Este parámetro define la clase que se quiere detectar, el modelo de MobileNet está entrenado para detectar personas con la clase “persona” con un valor de identificación para esa clase de 15. Definiendo que solo detecte a personas con la siguiente línea de código:

if class_id == 15

En la Figura 22, se describe el proceso del sistema para la medición de velocidad.

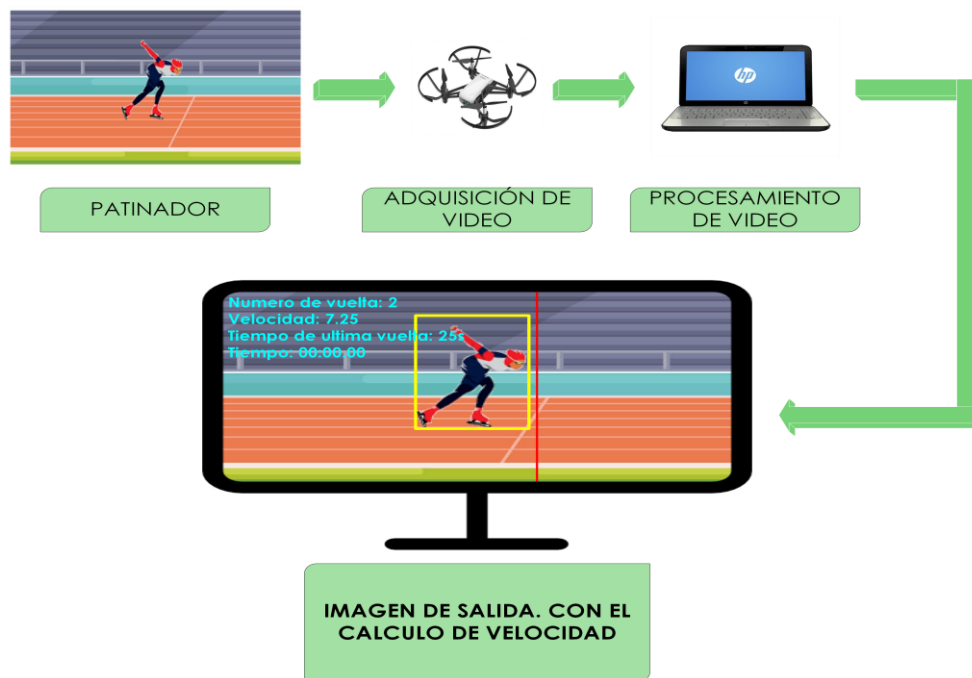


Figura 22 Proceso del sistema de Velocidad por Procesamiento de imágenes.

A continuación, se muestra en la Figura 23 el diagrama de la codificación realizada en el cual se calcula la velocidad por vuelta, tiempo de la última vuelta y el número de vuelta.



Figura 23 Pantalla principal del Sistema de Control de Postura

3.7.1.4 TABLERO DIGITAL

El diseño de un tablero digital como indicador del tiempo, número de vueltas y velocidad realizada es una herramienta que puede mejorar significativamente el proceso de enseñanza-aprendizaje en el patinaje de velocidad, esto se lo realizó como un complemento del proyecto como requerimiento de la escuela de patinaje, ya que tenían la necesidad de un indicador visual en sus entrenamientos.

Para llevar a cabo el diseño del tablero digital se dividió en varias etapas, las cuales son la creación de varios displays de 7 segmentos cátodo común, en donde, sus segmentos están formados por tiras LED. La siguiente etapa es el diseño del circuito electrónico que permite su funcionamiento. Además, de la construcción de una estructura metálica capaz de soportar el tablero digital, construido con acrílico y soporte de MDF.

La programación en el microcontrolador Arduino ha sido la última etapa del proyecto, permitiendo que el tablero funcione adecuadamente y brinde una experiencia de uso satisfactoria. En la Figura 24, se muestra el tablero electrónico colocado en la estructura metálica, la programación y diseño del circuito se puede ver en Anexo G.



Figura 24 Tablero digital.

A continuación, en la Figura 25 se muestra el circuito electrónico para el funcionamiento del tablero digital.

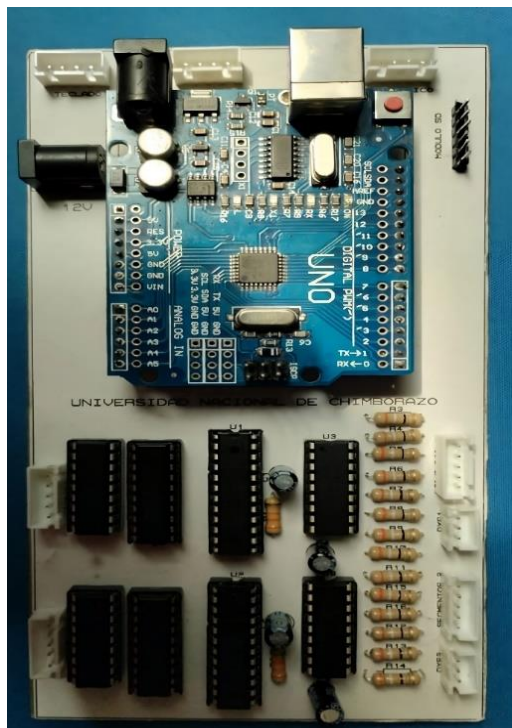


Figura 25 Circuito electrónico del Tablero.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para verificar la eficiencia del sistema de control de postura, se dividió en 3 etapas, la primera antes del sistema, consiste en tomar datos de tiempo, velocidad y también a través del test de evaluación datos de postura, técnica y resistencia. En la segunda etapa, las patinadoras entrenaron con el sistema implementado durante casi 4 semanas y la tercera etapa consistió en la toma de datos después del sistema. Todo esto se realizó con el objetivo de observar si el sistema ayuda a las patinadoras en su rendimiento. El test de evaluación utilizado para evaluar y tomar datos se muestra en el Anexo E.

4.1 Información de las patinadoras

En la Tabla 13, se detalla información importante de cada patinadora, en donde se indica su nivel, nombre, edad, tiempo entrenando y las lesiones que han sufrido siendo la más común las fracturas (ver Anexo D).

Tabla 13 Datos de las Patinadoras.

NIVEL	NOMBRE	EDAD	LESIONES	TIEMPO ENTRENANDO
Intermedio	Isabel Murillo	9	SI	5 años
Intermedio	Isabel Moya	12	SI	1,4 meses
Intermedio	Sophia Ortega	14	SI	6 años

4.2 Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados, se tomaron en cuenta los datos obtenidos de cada patinadora antes y después del sistema realizando un análisis individual y general.

Cabe recalcar que los datos obtenidos son relacionales ya que se realiza el estudio al mismo grupo antes y después de la implementación del sistema. Para su análisis se realizó un análisis descriptivo como primer punto del antes y después que nos permitió conocer la media, mediana, moda y más parámetros necesarios del tiempo y velocidad mientras que postura, técnica y velocidad solo se obtiene la moda, máximo y mínimo ya que son datos ordinales. Estos datos se los representa gráficamente por medio del diagrama de cajas de cada una de las variables indicando de manera visual si existe un cambio entre los datos obtenidos antes y después de entrenar con el sistema.

Para demostrar estadísticamente si hay una varianza significativa se procedió a una prueba de normalidad para conocer si los datos de velocidad y tiempo son paramétricos o no. Definiendo así el método a utilizarse para analizar si existe una varianza significativa donde, las hipótesis para la prueba de normalidad son las siguientes:

H₀: Hipótesis Nula

H₁: Hipótesis alternativa

Los datos tienen una distribución normal Los datos no tienen una distribución normal

Los datos ordinales son implícitos que se establecen como no paramétricos por lo tanto se utiliza el análisis T de Wilcoxon para comparar medianas, analizando si existe una diferencia significativa que permita rechazar o aceptar la hipótesis nula al igual que las demás variables numéricas. En cambio, para las variables paramétricas se utiliza el análisis T de Student que

compara medias estudiando si existe una varianza significativa. En la Tabla 14, se indica las hipótesis establecidas.

Tabla 14 Hipótesis definidas.

Análisis	H ₀ : Hipótesis Nula	H ₀ : Hipótesis Alternativa
	$Me_1=Me_2$	$Me_1\neq Me_2$
T de Wilcoxon	La variable estudiada no presente una varianza significativa luego de la implementación del sistema.	La variable estudiada presente una varianza significativa luego de la implementación del sistema.
T de Student	$\mu_1=\mu_2$	$\mu_1\neq \mu_2$
	La variable estudiada no presente una varianza significativa luego de la implementación del sistema.	La variable estudiada presente una varianza significativa luego de la implementación del sistema.

4.2.1 Resultados Generales

En esta sección se realiza el estudio de los resultados generales para comprobar si el sistema de control de postura y velocidad funciona en las patinadoras.

Descriptivo: Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica.

Tabla 15 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica (Antes)

		Estadísticos				
		Tiempo Transcurrido [Seg]	Velocidad [m/s]	Resistencia Evaluada	Postura Evaluada	Técnica Evaluada
N	Válido	45	45	45	45	45
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		73,04378	7,39236			
Mediana		54,70700	7,28600			
Moda		21,786 ^a	7,057 ^a	2,00	3,00	3,00
Desv. Desviación		47,919657	,654858			
Varianza		2296,293	,429			
Rango		136,644	2,868			
Mínimo		21,786	6,312	1,00	2,00	2,00
Máximo		158,430	9,180	3,00	4,00	4,00

Tabla 16 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica (Después)

		Estadísticos				
		Tiempo Transcurrido [Seg]	Velocidad [m/s]	Resistencia Evaluada	Postura Evaluada	Técnica Evaluada
N	Válido	45	45	45	45	45
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		68,41218	7,91224			
Mediana		50,79000	7,85200			
Moda		52,700	7,559 ^a	3,00	4,00	4,00
Desv. Desviación		45,576258	,500074			
Varianza		2077,195	,250			
Rango		121,100	2,328			
Mínimo		21,400	7,018	3,00	3,00	3,00
Máximo		142,500	9,346	4,00	4,00	4,00

La Tabla 15 y Tabla 16, muestra el análisis de relación entre variables antes y después de la utilización del sistema. La mediana de velocidad antes de la utilización del sistema es de 7,286 m/s y la moda en postura es de 3, es decir se relaciona a una postura buena.

De acuerdo con las anteriores tablas, se puede observar claramente que el sistema funciona, puesto que existe una mejora de 0.566 m/s en velocidad, mientras que en postura el sistema logró pasar de buena a optima. Por consiguiente, se espera que, si la velocidad mejoró, el tiempo también mejorará y si la postura mejoró también la técnica mejorará. Estos datos son verificados mediante la comparación de medias y medianas de las variables según corresponda. A continuación, se detalla los resultados obtenidos de manera gráfica por medio del uso de diagramas de cajas y por análisis estadísticos que solventan lo dicho anteriormente.

Diagramas de cajas

Los diagramas de cajas son un método utilizado para representar gráficamente la distribución de un conjunto de datos. Mostrando valores atípicos, medianas, máximos y mínimos. Esta herramienta la hemos empleado para demostrar gráficamente la diferencia entre los datos obtenidos antes y después de la implementación del sistema. Demostrando gráficamente si el sistema influye en la velocidad, tiempo, técnica, postura y resistencia del patinador.

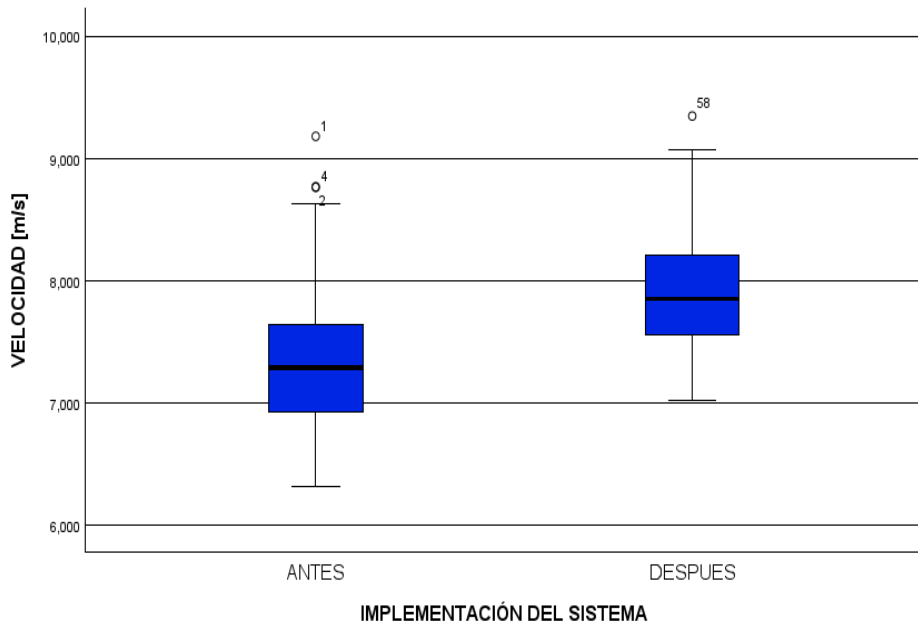


Figura 26 Diagrama de caja de Velocidad.

En el diagrama de cajas de la Figura 26, se muestra que después de la utilización del sistema existe un aumento de velocidad significativo logrando sobrepasar los 8m/s.

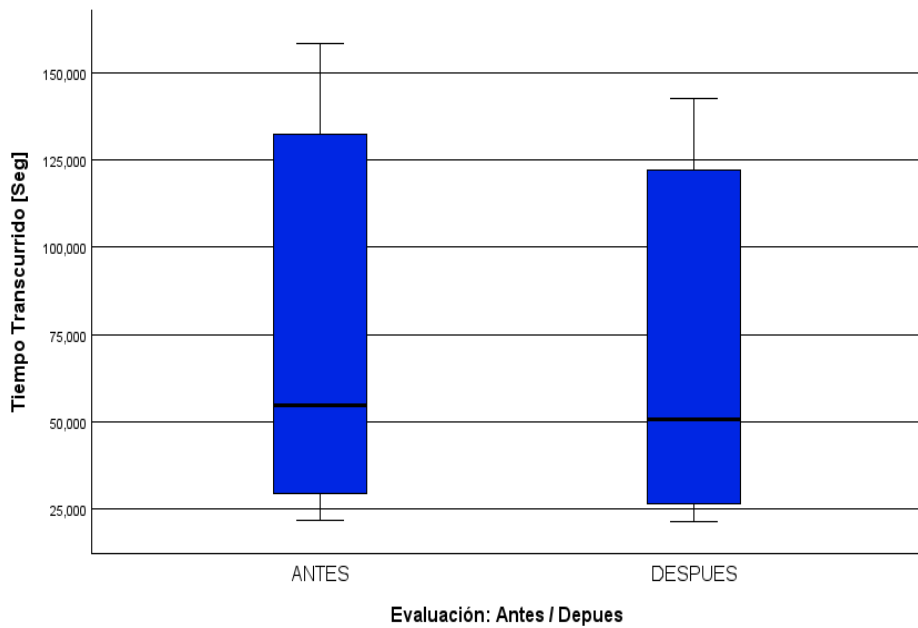


Figura 27 Diagrama de caja de Tiempo.

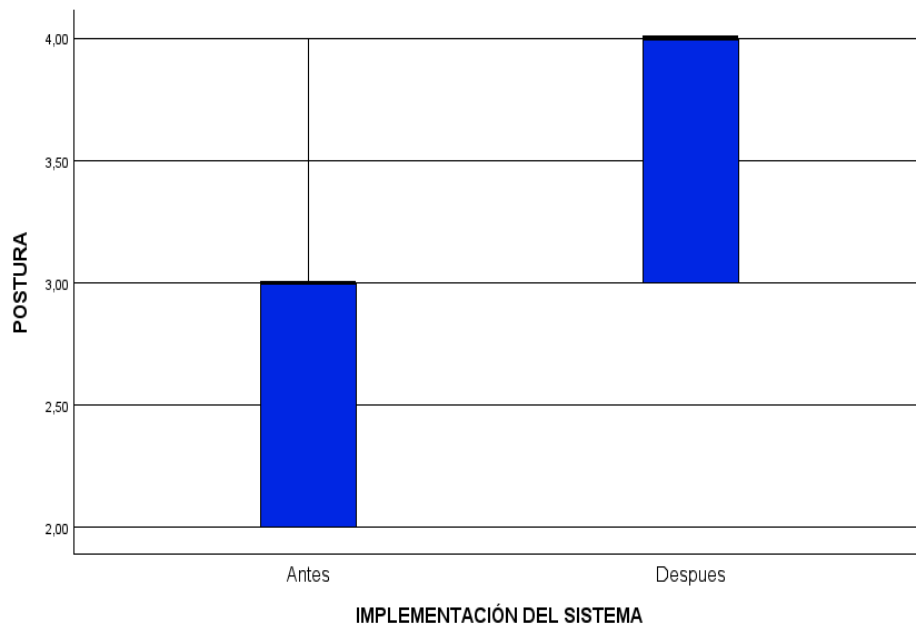


Figura 28 Diagrama de caja de Postura.

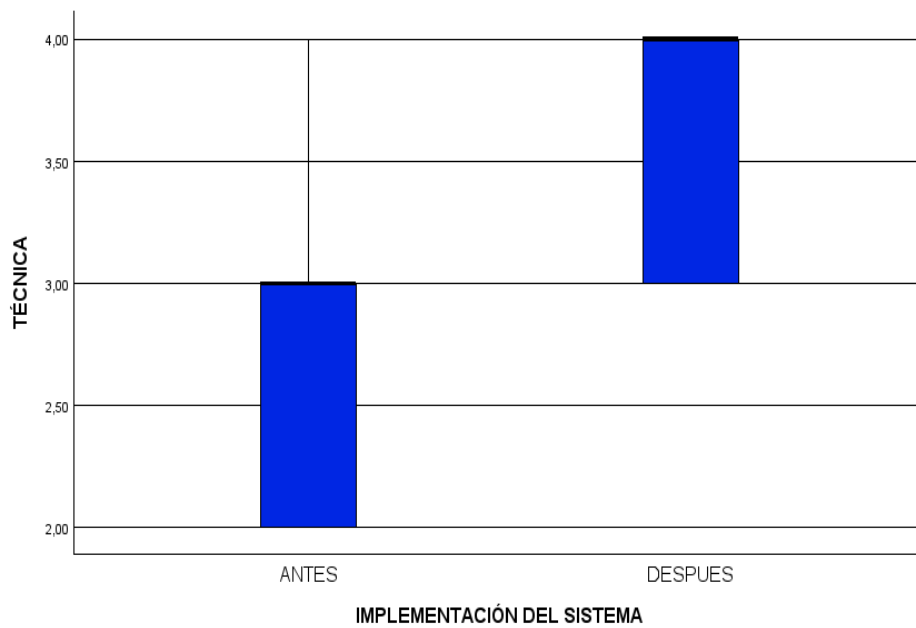


Figura 29 Diagrama de caja de Técnica

En la Figura 28 y Figura 29, muestran el cambio que hubo después de la utilización del sistema en postura y técnica, logrando después del sistema mantener una postura excelente.

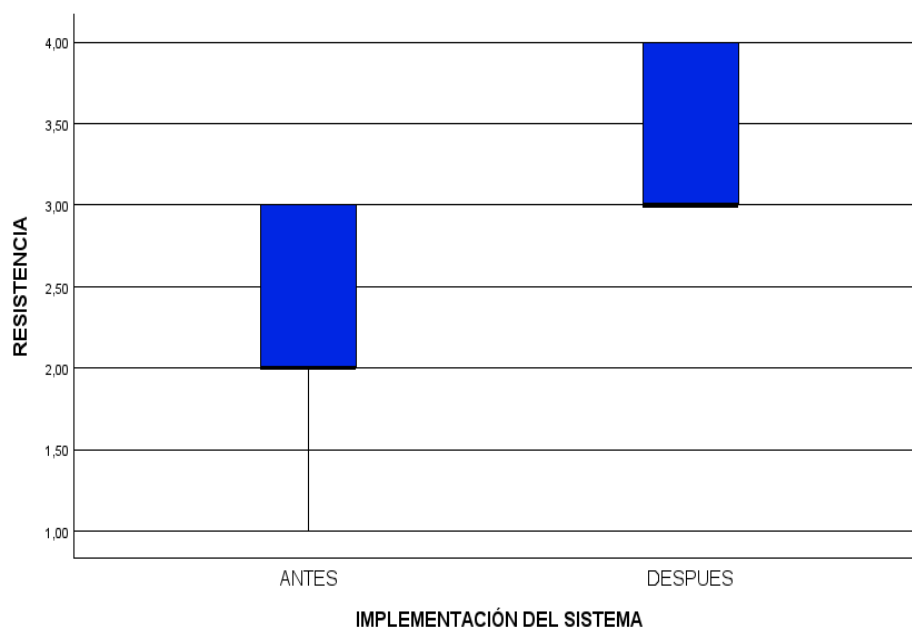


Figura 30 Diagrama de caja de Resistencia

PRUEBA DE NORMALIDAD EN GENERAL.

Tabla 17 Prueba de Normalidad General del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada (Antes y Después).

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad [m/s] – ANTES	,145	45	,018	,927	45	,007
Velocidad [m/s] – DESPUÉS	,114	45	,173	,965	45	,187
Tiempo Transcurrido [s] – ANTES	,282	45	,000	,795	45	,000
Tiempo Transcurrido [s] - DESPUÉS	,299	45	,000	,786	45	,000

La prueba de normalidad nos dice que las variables tiempo, postura, resistencia y técnica no son paramétricas por lo tanto se realiza la comparación de medias por T de Wilcoxon en cambio velocidad si es paramétrica por lo tanto se utiliza el análisis T de Student.

Análisis T Wilcoxon

Tabla 18 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medias.

Análisis T Wilcoxon		
	Z	Sig. asintótica(bilateral)
Postura Evaluada - ANTES – Postura Evaluada - DESPUÉS	-8,463	,000
Técnica Evaluada - ANTES – Técnica Evaluada - DESPUÉS	-5,348	,000
Resistencia Evaluada - ANTES - Resistencia Evaluada-DESPUÉS	-6,214	,000
Tiempo [m/s] - ANTES – Tiempo [m/s] - DESPUÉS	-4,656	,000

Análisis T de Student.

Tabla 19 Análisis T de Student Comparación de Medias

Análisis T Student	
Velocidad [m/s] - ANTES – Velocidad [m/s] - DESPUÉS	
Desv. Estándar	,65337
T	-5,338
Sig. asintótica(bilateral)	<,001
Sig. asintótica(unilateral)	<,001

Discusión: Como resultado final verificamos por medio del análisis T de Wilcoxon que las variables de tiempo, resistencia, postura y técnica tienen una diferencia significativa lo que quiere decir que la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alterna la que indica que después de entrenar con el sistema existe una mejora en el rendimiento de las patinadoras. En la variable velocidad también existe una diferencia significativa según los resultados del análisis de T de Student. Esto se muestra gráficamente mediante los diagramas de cajas ilustrados a continuación, lo que indica que el sistema implementado es efectivo para una mejora en el rendimiento del patinador.

4.2.2 Resultados Individuales.

Una vez comprobado estadísticamente que el sistema funciona, se realiza un análisis a cada patinadora para ver los cambios de forma individual.

4.2.2.1 ISABEL MURILLO

Descriptivo: Análisis estadístico del Tiempo, Velocidad y Resistencia, Postura y Técnica Evaluada de la estudiante Isabel Murillo.

Tabla 20 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Murillo (Antes).

Análisis Estadístico						
		Tiempo Transcurrido [s]	Velocidad [m/s]	Resistencia Evaluada	Postura Evaluada	Técnica Evaluada
N	Válido	15	15	15	15	15
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		69,77973	7,77933			
Mediana		52,81600	7,63900			
Moda		21,786 ^a	7,639	3,00	3,00	3,00
Varianza		2206,826	,399			
Rango		110,960	2,292			
Mínimo		21,786	6,888	3,00	3,00	3,00
Máximo		132,746	9,180	3,00	4,00	4,00

Tabla 21 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Murillo (Después).

Análisis Estadístico					
	Tiempo	Velocidad	Resistencia	Postura	Técnica
	Transcurrido [s]	[m/s]	Evaluada	Evaluada	Evaluada
N	Válido	15	15	15	15
	Perdidos	0	0	0	0
Media	64,40860	8,39687			
Mediana	47,62000	8,37900			
Moda	21,400 ^a	7,807 ^a	4,00	4,00	4,00
Varianza	1902,731	,163			
Rango	106,690	1,539			
Mínimo	21,400	7,807	4,00	3,00	3,00
Máximo	128,090	9,346	4,00	4,00	4,00

Diagrama de Cajas: Representa de manera visual el análisis estadístico de cada variable donde se puede ver si existe alguna variación entre el antes y después de los datos obtenidos.

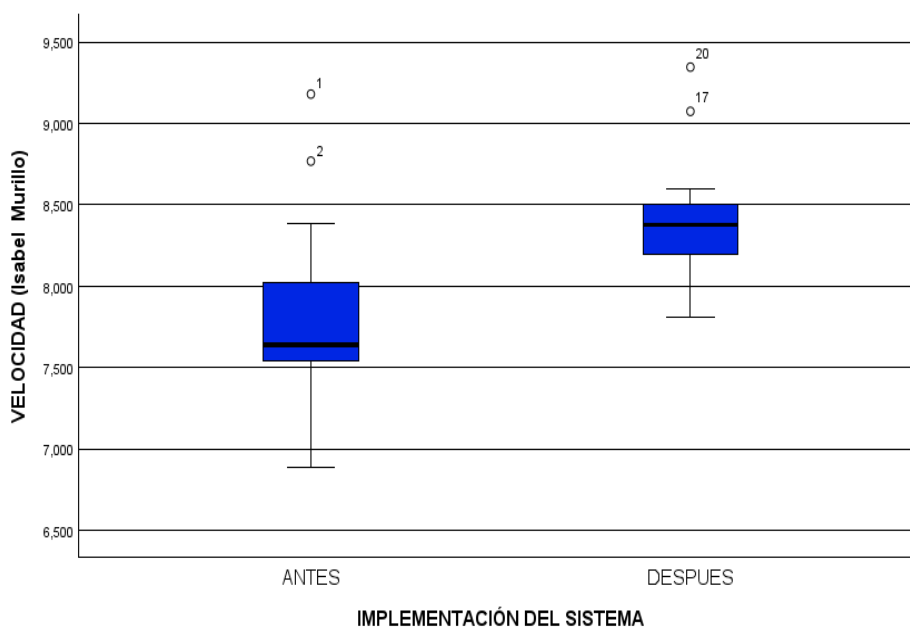


Figura 31 Diagrama de caja de Velocidad (Isabel Murillo)

La Figura 31 muestra un notable cambio en velocidad después de la utilización del sistema de la patinadora Isabel Murillo, obteniendo velocidades mayores a 8m/s y en ocasiones logró sobrepasar los 9m/s.

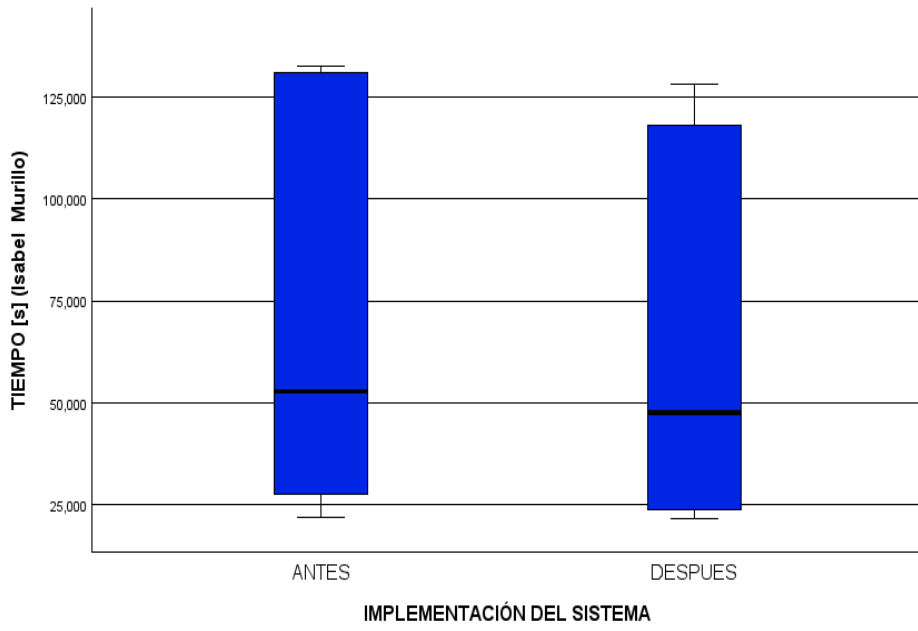


Figura 32 Diagrama de caja de Tiempo (Isabel Murillo)

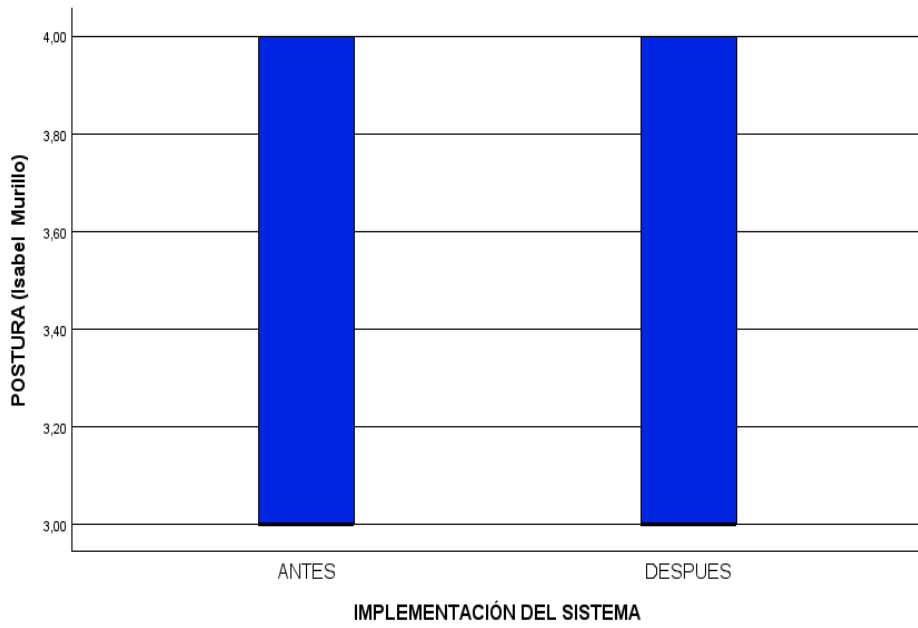


Figura 33 Diagrama de caja de Postura (Isabel Murillo)

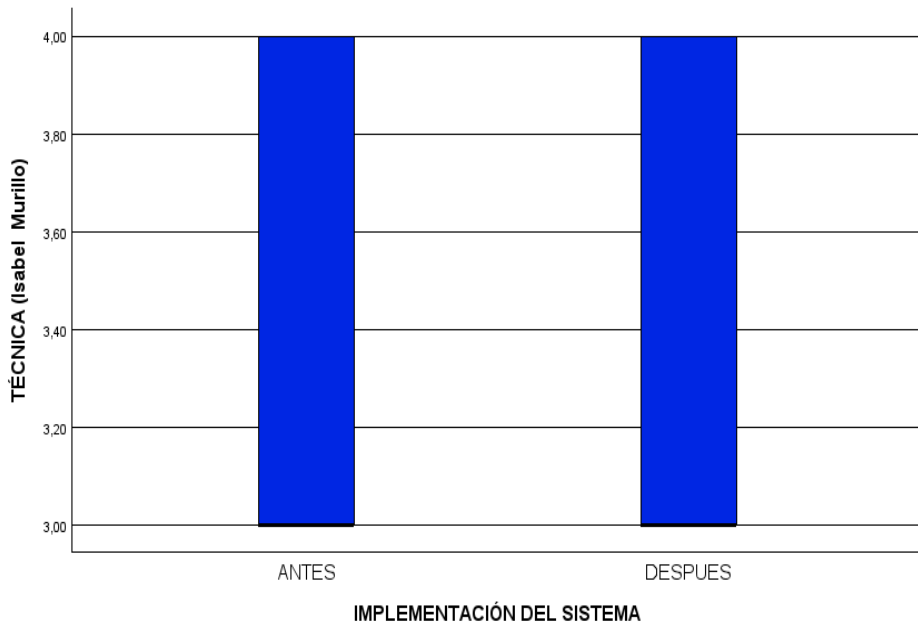


Figura 34 Diagrama de caja de Técnica (Isabel Murillo)

En las Figura 33 y Figura 34 no se observa cambios antes y después del sistema en postura y técnica. Esto se debe a que la patinadora antes del sistema ya manejaba una postura correcta por lo que no se muestran cambios después del sistema.

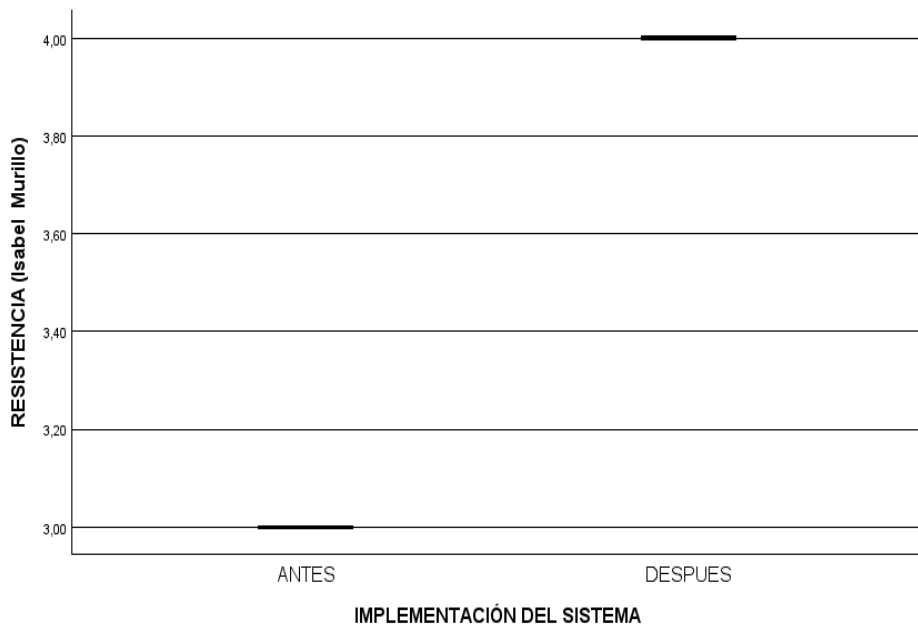


Figura 35 Diagrama de caja de Resistencia (Isabel Murillo)

La Figura 35, muestra el cambio en el nivel de resistencia de Isabel Murillo, logrando tener una excelente resistencia.

PRUEBA DE NORMALIDAD

Tabla 22 Prueba de Normalidad del: Tiempo, Velocidad Evaluada en Isabel Murillo (Antes y Después).

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad [m/s] - ANTES	,243	15	,017	,905	15	,113
Velocidad [m/s] - DESPUÉS	,180	15	,200*	,914	15	,156
Tiempo [s] - ANTES	,266	15	,005	,775	15	,002
Tiempo [s] - DESPUÉS	,288	15	,002	,779	15	,002

El resultado de la prueba de normalidad dice que la variable tiempo no es paramétrica, por lo tanto, se realiza la comparación de medias por T de Wilcoxon en cambio la variable velocidad es paramétrica por lo que se utiliza el análisis T de Student, esto se da en el análisis individual de cada patinadora como en el análisis general.

Análisis T Wilcoxon

Tabla 23 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medianas

Análisis T Wilcoxon		
	Z	Sig. asintótica(bilateral)
Postura Evaluada - ANTES - Postura Evaluada - DESPUÉS	-4,879	<,001
Técnica Evaluada - ANTES - Técnica Evaluada - DESPUÉS	-4,879	<,001
Resistencia Evaluada - ANTES - Resistencia Evaluada-DESPUÉS	-5,477	<,001
Tiempo [s] - ANTES - Tiempo [s] - DESPUÉS	-4,782	<,001

Análisis T de Student

Tabla 24 Análisis T Student Comparación de Medias

Análisis T Student	
	Velocidad [m/s] - ANTES – Velocidad [m/s] - DESPUÉS
Desv. estándar	,547499
t	-4,368
Sig. asintótica(bilateral)	<,001
Sig. asintótica(unilateral)	<,001

La Tabla 23, muestra el resultado de la comparación de medianas de postura, técnica, resistencia y tiempo antes y después de la implementación del sistema de control de postura y velocidad. Concluyendo que no se acepta la hipótesis nula, es decir existe una varianza significativa tanto en la postura como en las otras variables analizadas de la patinadora Isabel Murillo. Mientras que en la Tabla 24, el resultado del análisis T de Student de la variable velocidad también indica que existe una varianza significativa entre las medias de antes y después del sistema.

4.2.2.2 ISABEL MOYA

Descriptivo: Análisis Estadístico del Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada de la estudiante Isabel Moya.

Tabla 25 Análisis Estadístico del Tiempo Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Moya (Antes).

Estadísticos						
		Tiempo Transcurrido [Seg]	Velocidad [m/s]	Resistencia Evaluada	Postura Evaluada	Técnica Evaluada
N	Válido	15	15	15	15	15
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		74,16940	7,21873			
Mediana		54,70700	7,16100			
Moda		22,827 ^a	6,479 ^a	1	3	3
Varianza		2417,896	,349			
Rango		121,638	2,283			
Mínimo		22,827	6,479	1	2	2
Máximo		144,465	8,762	2	3	3

Tabla 26 Análisis Estadístico del Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Isabel Moya (Después).

Estadísticos						
		Tiempo Transcurrido [Seg]	Velocidad [m/s]	Resistencia Evaluada	Postura Evaluada	Técnica Evaluada
N	Válido	15	15	15	15	15
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		71,59173	7,65600			
Mediana		50,45600	7,58400			
Moda		25,090 ^a	7,018 ^a	3	4	4
Varianza		2541,799	,202			
Rango		117,410	1,683			
Mínimo		25,090	7,018	3	3	3
Máximo		142,500	8,701	3	4	4

Diagrama de Cajas: representa de manera visual el análisis estadístico de cada variable donde se puede ver si existe alguna variación entre el antes y después de los datos obtenido de la estudiante Isabel Moya.

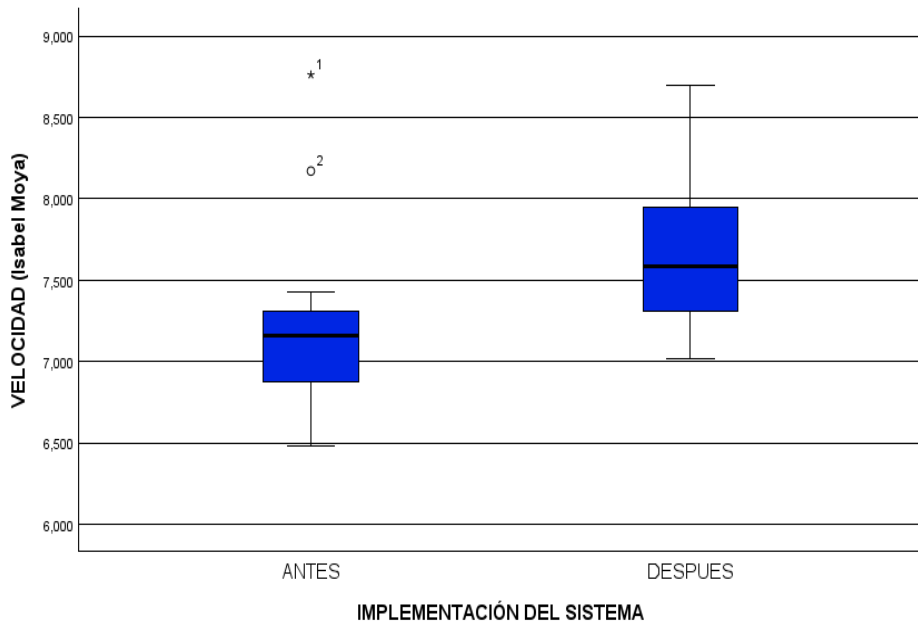


Figura 36 Diagrama de caja de Velocidad (Isabel Moya)

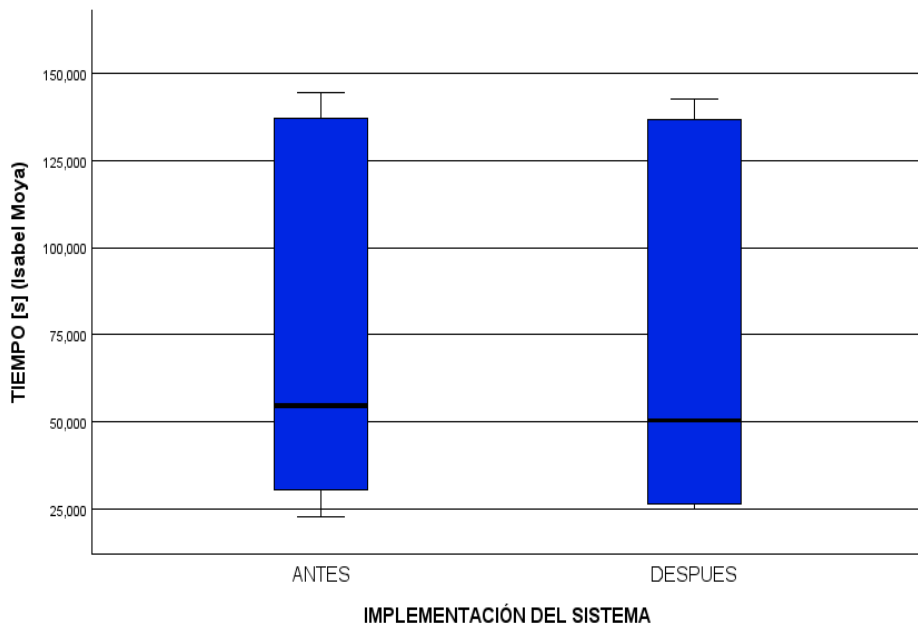


Figura 37 Diagrama de caja de Tiempo (Isabel Moya)

La Figura 36 muestra una mejoría en velocidad después del sistema en la patinadora Isabel Moya, obteniendo velocidades superiores a los 7.5m/s por tanto, en la Figura 37 los tiempos son menores después del sistema.

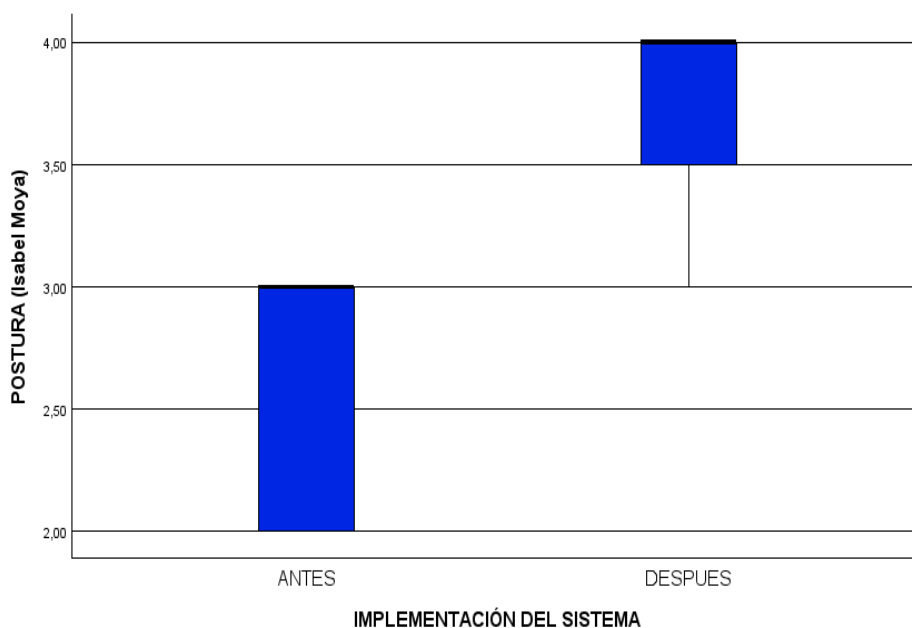


Figura 38 Diagrama de caja de Postura (Isabel Moya)

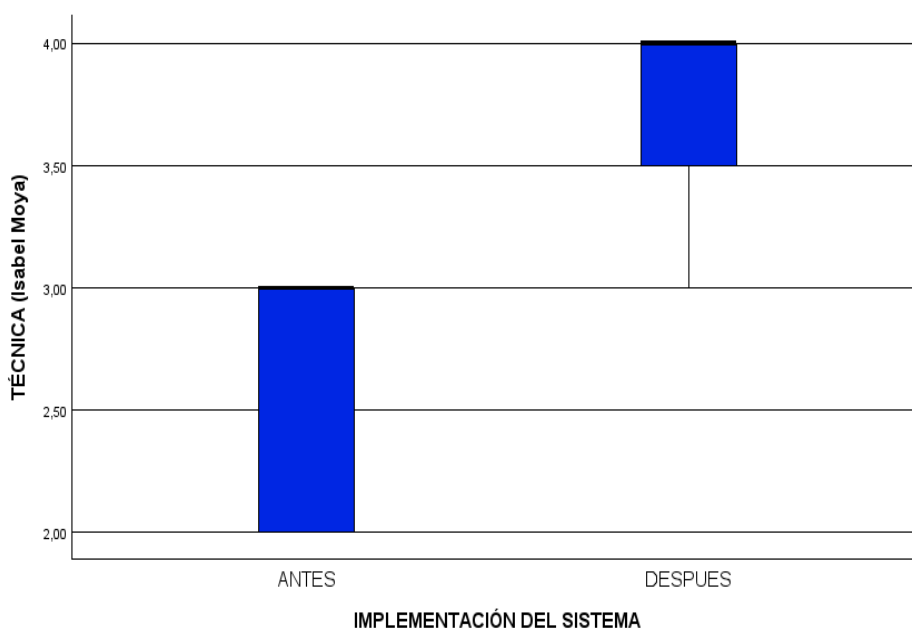


Figura 39 Diagrama de caja de Técnica (Isabel Moya)

En la Figura 38 y Figura 39 se muestran cambios importantes en postura y técnica. Antes de la utilización del sistema la patinadora Isabel Moya tenía una postura buena (3) y después de la utilización del sistema logró adoptar una postura excelente (4). Esto se pudo corroborar visualmente puesto que el cambio en postura y técnica de la patinadora fue evidente.

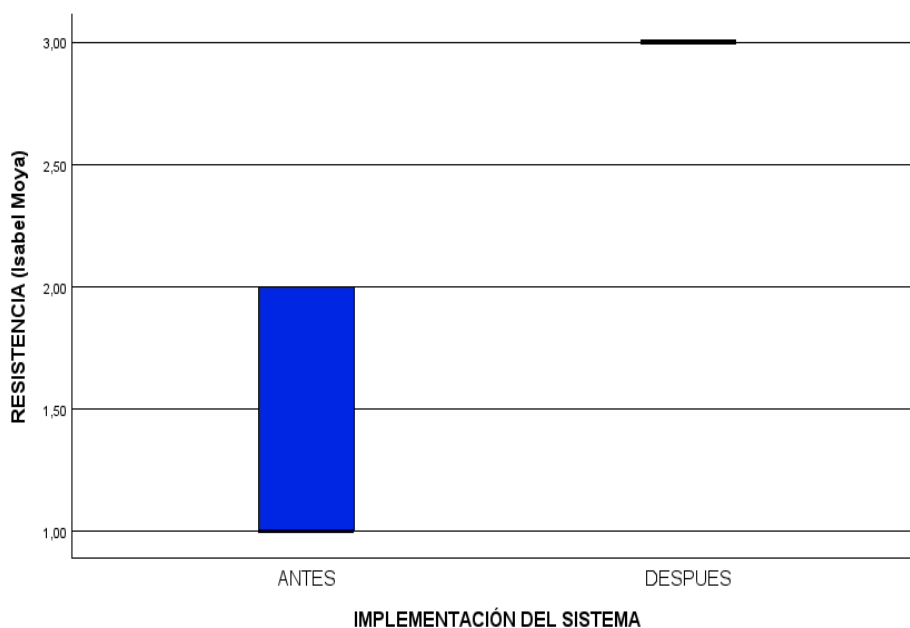


Figura 40 Diagrama de caja de Resistencia (Isabel Moya)

Prueba de Normalidad

Tabla 27 Prueba de Normalidad del: Tiempo y Velocidad en Isabel Moya (Antes y Después).

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad [m/s] - ANTES	,237	15	,023	,864	15	,027
Velocidad [m/s] - DESPUÉS	,108	15	,200*	,950	15	,526
Tiempo [s] - ANTES	,291	15	,001	,778	15	,002
Tiempo [s] - DESPUÉS	,310	15	<,001	,747	15	<,001

Análisis T Wilcoxon

Tabla 28 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medianas

	Análisis T Wilcoxon	
	Z	Sig. asintótica(bilateral)
Postura Evaluada - ANTES - Postura Evaluada - DESPUÉS	-3,314	,000
Técnica Evaluada - ANTES - Técnica Evaluada - DESPUÉS	-4,983	<,001
Resistencia Evaluada - ANTES - Resistencia Evaluada-DESPUÉS	-4,983	<,001
Tiempo [s] - ANTES – Tiempo [s] - DESPUÉS	-4,782	<,001

Análisis T de Student

Tabla 29 Análisis T de Student Comparación de Medias.

Análisis T Student	
	Velocidad [m/s] - ANTES – Velocidad [m/s] - DESPUÉS
Desv. Estándar	,589997
T	-64,403
Sig. asintótica(bilateral)	<,001
Sig. asintótica(unilateral)	<,001

La Tabla 28 muestra el resultado de la comparación de medianas de las variables postura, técnica, resistencia y tiempo; antes y después de la implementación del sistema. Obteniendo un p valor < 0.005 es decir se rechaza la hipótesis nula con lo cual la patinadora presentó un cambio significativo en su postura después de entrenar con el sistema. En velocidad la Tabla 29 da como resultado de p valor < 0.005 indica que no se debe aceptar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna es decir que si existe un cambio significativo.

4.2.2.3 SOPHIA ORTEGA

Descriptivo: Análisis estadístico: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada de la estudiante Sophia Ortega.

Tabla 30 Análisis estadístico del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Sophia Ortega (Antes).

Estadísticos						
		Tiempo Transcurrido [Seg]	Velocidad [m/s]	Resistencia Evaluada	Postura Evaluada	Técnica Evaluada
N	Válido	15	15	15	15	15
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		75,18220	7,17900	2,00	2,13	2,13
Mediana		56,25000	7,05700	2,00	2,00	2,00
Moda		23,183 ^a	7,057	2	2	2
Varianza		2574,528	,358	,000	,124	,124
Rango		135,247	2,315	0	1	1
Mínimo		23,183	6,312	2	2	2
Máximo		158,430	8,627	2	3	3

Tabla 31 Análisis descriptivo general del: Tiempo, Velocidad, Resistencia, Postura y Técnica Evaluada en Sophia Ortega (Después).

Estadísticos						
		Tiempo Transcurrido [Seg]	Velocidad [m/s]	Resistencia Evaluada	Postura Evaluada	Técnica Evaluada
N	Válido	15	15	15	15	15
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		69,23620	7,68387	3,00	3,00	3,00
Mediana		52,70000	7,59000	3,00	3,00	3,00
Moda		52,700	7,559 ^a	3	3	3
Varianza		2055,065	,043	,000	,000	,000
Rango		108,938	,745	0	0	0
Mínimo		25,400	7,444	3	3	3
Máximo		134,338	8,189	3	3	3

Diagrama de Cajas: Representa de manera visual el análisis estadístico de cada variable donde se puede ver si existe alguna variación entre el antes y después de los datos obtenido de la estudiante Sophia Ortega.

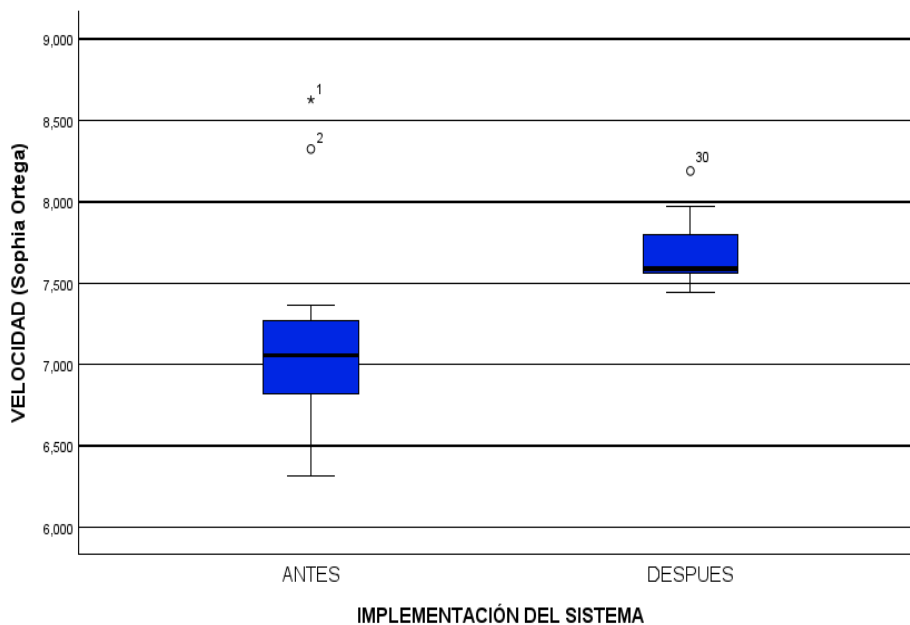


Figura 41 Diagrama de caja de Velocidad (Sophia Ortega)

En la Figura 41 se muestra un importante cambio en la velocidad de la patinadora Sophia Ortega, después de la utilización del sistema obtuvo velocidades superiores a 7,5m/s.

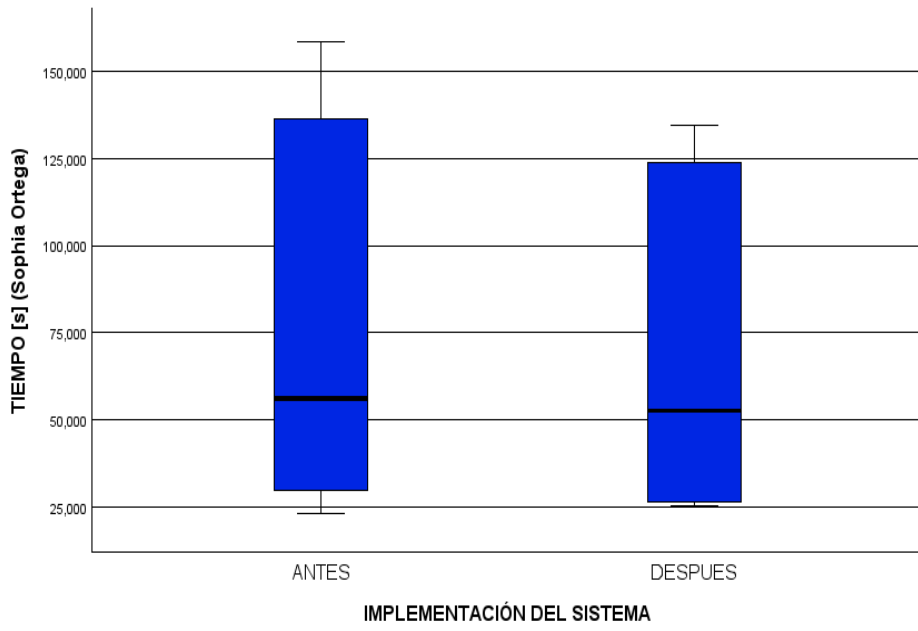


Figura 42 Diagrama de caja de Tiempo (Sophia Ortega)

En la Figura 42, el tiempo de entrenamiento de la patinadora después de la utilización del sistema se reduce significativamente.

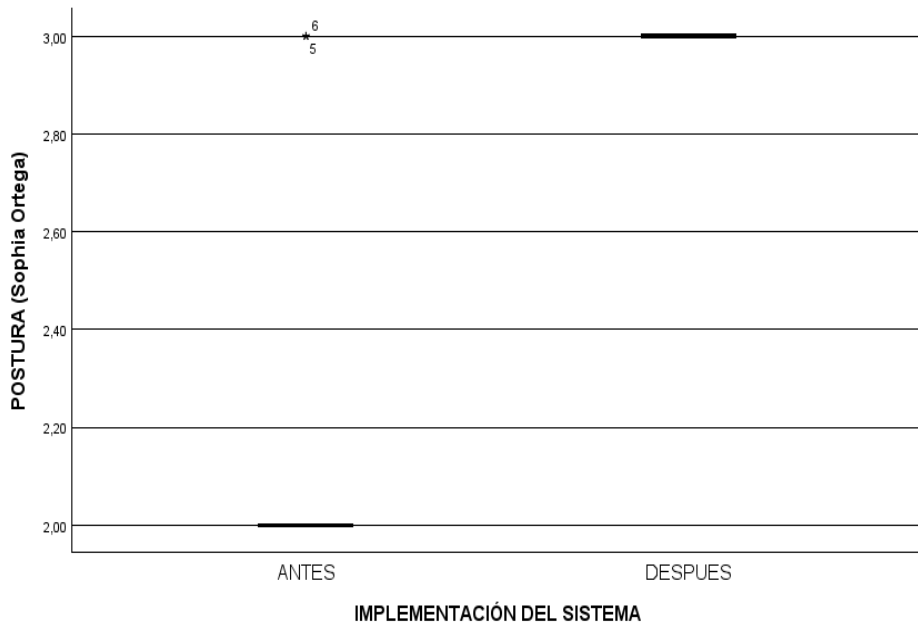


Figura 43 Diagrama de caja de Postura (Sophia Ortega)

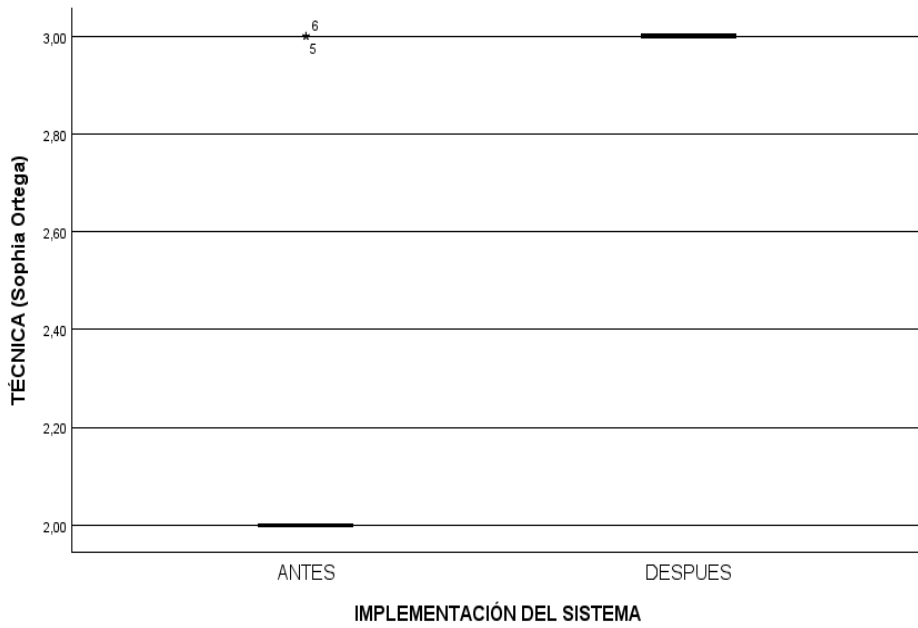


Figura 44 Diagrama de caja de Técnica (Sophia Ortega)

La Figura 43 y Figura 44, muestra la postura y técnica de la patinadora Shopia Ortega, quien antes del sistema adoptaba generalmente una postura y técnica regular (2) y después del sistema logró tener una mejor postura y técnica (3).

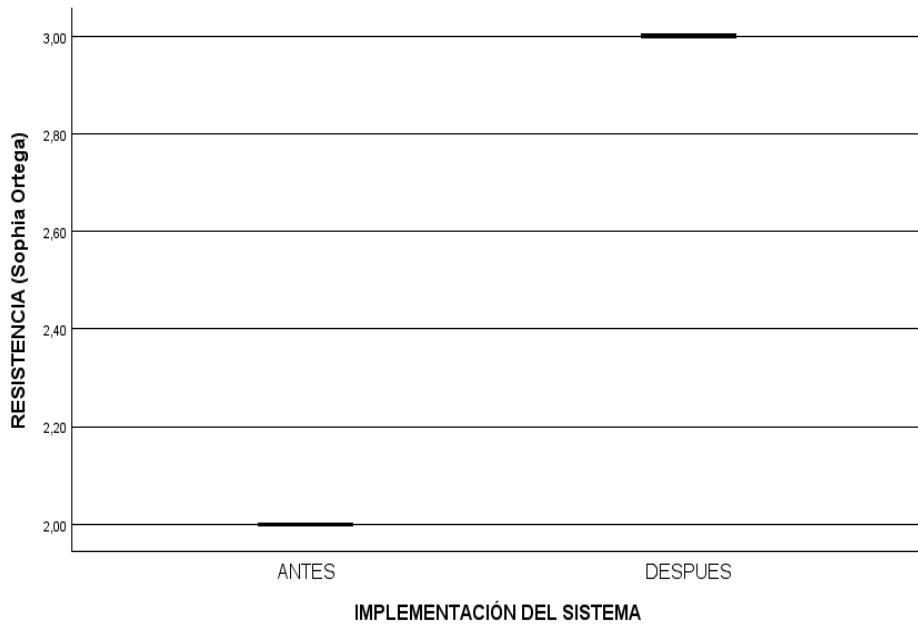


Figura 45 Diagrama de caja de Resistencia (Sophia Ortega)

Finalmente, la Figura 45, muestra que el nivel de resistencia después de la utilización del sistema mejoró significativamente a 3, es decir, una resistencia buena.

Prueba de Normalidad

Tabla 32 Prueba de Normalidad del: Tiempo y Velocidad en Sophia Ortega (Antes y Después).

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad [m/s ²] - ANTES	,245	15	,016	,857	15	,022
Velocidad [m/s ²] - DESPUÉS	,265	15	,006	,882	15	,050
Tiempo [s] – ANTES	,292	15	,001	,803	15	,004
Tiempo [s] - DESPUÉS	,306	15	<,001	,775	15	,002

Análisis T Wilcoxon

Tabla 33 Análisis T Wilcoxon Comparación de Medianas.

Análisis T Wilcoxon		
	Z	Sig. asintótica(bilateral)
Postura Evaluada - ANTES - Postura Evaluada - DESPUÉS	-3,306	,000
Técnica Evaluada - ANTES - Técnica Evaluada - DESPUÉS	-5,324	<,001
Resistencia Evaluada - ANTES - Resistencia Evaluada-DESPUÉS	-5,477	<,001
Tiempo [s] - ANTES – Tiempo [s] – DESPUÉS	-4,782	<,001

Análisis T Student

Tabla 34 Análisis T de Student Comparación de Medias

Análisis T Student	
	Velocidad [m/s] - ANTES – Velocidad [m/s] - DESPUÉS
Desv. estándar	6,937367
t	74,949
Sig. asintótica(bilateral)	<,001
Sig. asintótica(unilateral)	<,001

La Tabla 33 y Tabla 34 muestran como resultado que la patinadora tiene cambios significativos en postura, técnica, resistencia, tiempo y velocidad donde se acepta la hipótesis nula al tener un p valor > 0.005.

4.2.2.4 COMPARATIVA DE RESULTADOS INDIVIDUALES.

A continuación, se muestran gráficos comparativos entre las tres patinadoras, tanto en velocidad, tiempo, postura, técnica y resistencia.

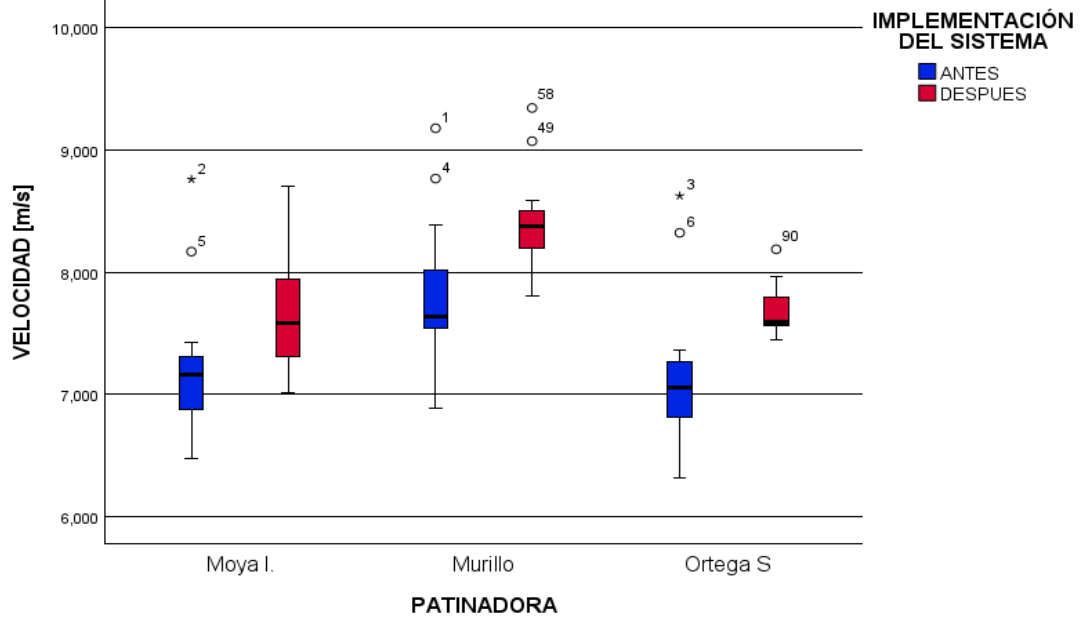


Figura 46 Comparativa de Velocidad mediante Diagramas de cajas.

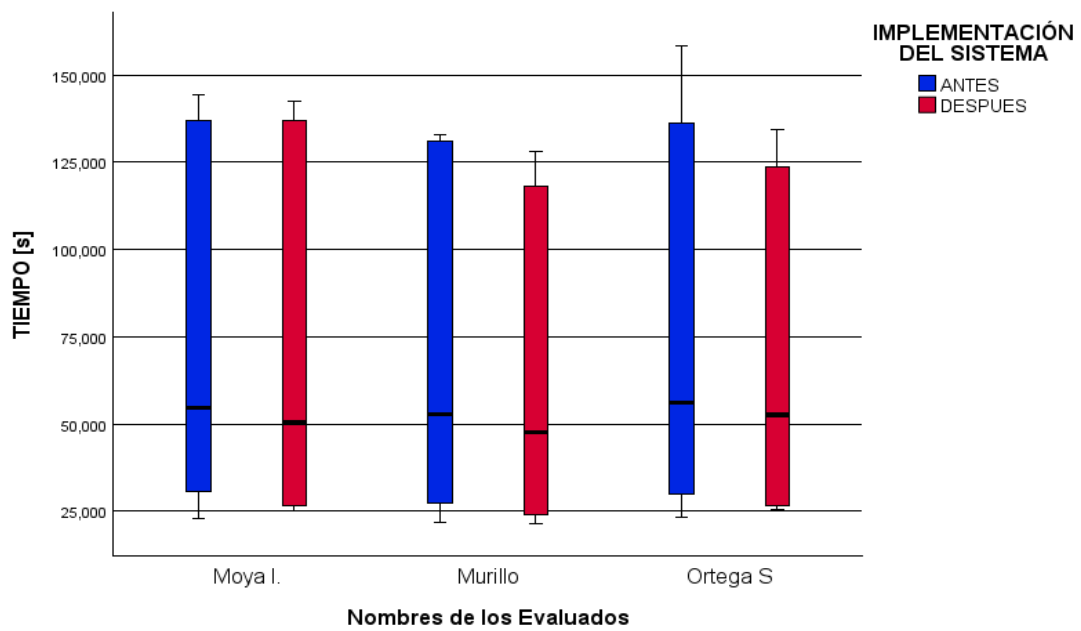


Figura 47 Comparativa de Tiempo mediante Diagramas de cajas.

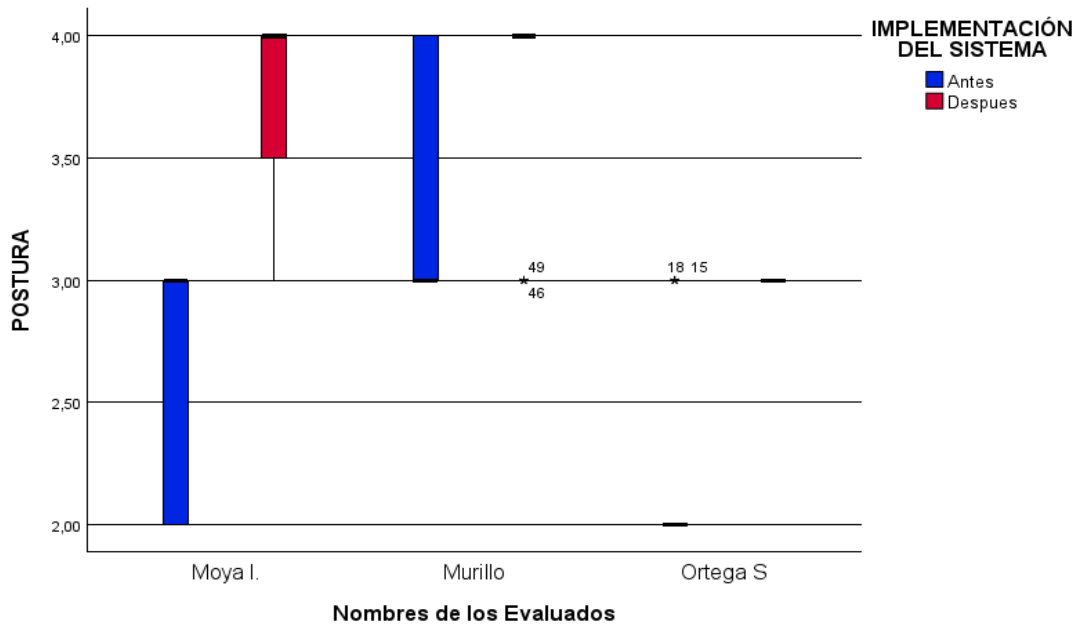


Figura 48 Comparativa de Postura mediante Diagramas de cajas.

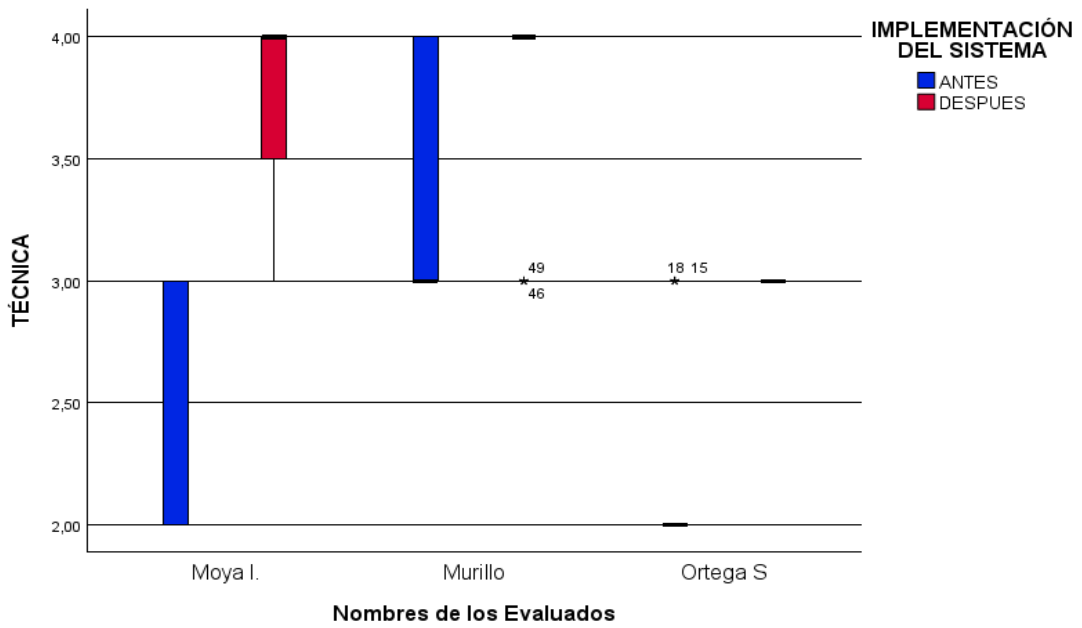


Figura 49 Comparativa de Técnica mediante Diagramas de cajas.

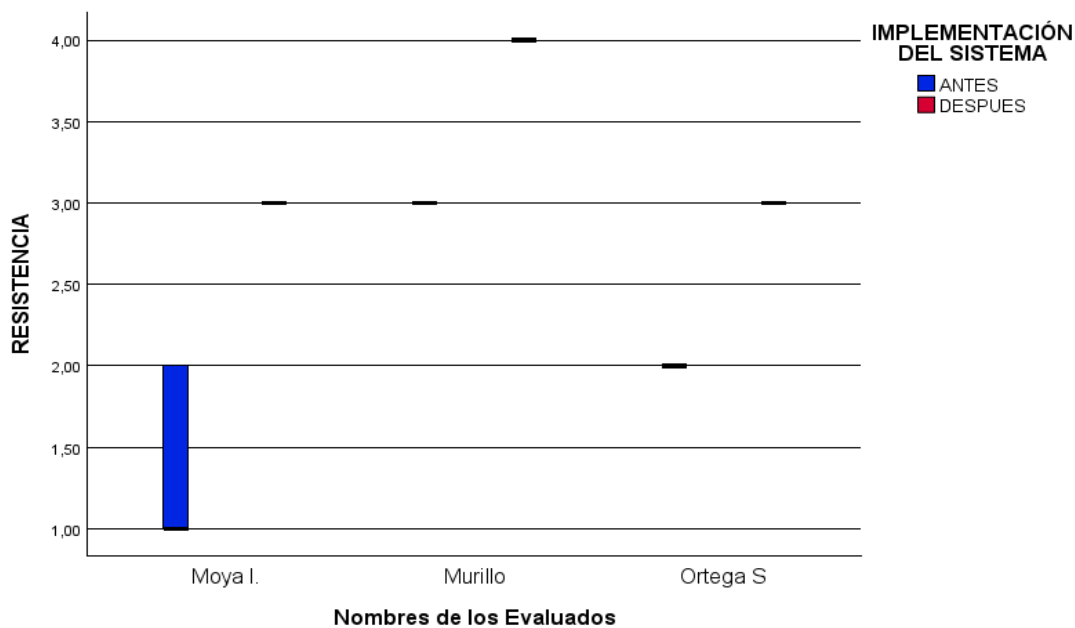


Figura 50 Comparativa de Resistencia mediante Diagramas de cajas.

Discusión: De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico realizado, se entiende que antes del sistema las tres patinadoras alcanzaban una velocidad mucho más baja a la que se tiene después de la utilización del sistema. Es decir, en las tres personas hubo progreso después de utilizar el sistema de control de postura y velocidad.

En el caso de Isabel Moya logró pasar de 7.1m/s² a 7.7m/s² y Sophia Ortega alcanzó los 7.8m/s². En cuanto a Isabel Murillo, logró sobrepasar los 8m/s² en velocidad, teniendo una diferencia significativa en la velocidad según lo demostrado por el análisis realizado anteriormente.

Isabel Moya y Sophia Ortega tuvieron una variación significativa en postura, Isabel Murillo quien antes del sistema adoptaba una postura buena en sus entrenamientos logró pasar a una postura excelente con la ayuda del sistema. Como resultado del análisis existe una diferencia significativa en la postura, el cambio en postura de Isabel Moya fue evidente puesto que ella en cuanto a técnica braseaba con movimientos incorrectos y no extendía los brazos y piernas. En el caso de Sophia Ortega, de manera visual no se observó notables cambios lo que contradice a los resultados obtenidos del análisis realizado donde se rechaza la hipótesis nula la cual indica que no existe una diferencia después de entrenar con el sistema.

Como resultado del análisis individual de cada una de las patinadoras existe una varianza significativa en las variables estudiadas indicando así que todas mejoraron después de entrenar con el sistema implementado tanto en velocidad como en postura, técnica, resistencia y tiempo.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES

- La comprensión de la biomecánica en el patinaje de velocidad fue fundamental para el desarrollo del sistema de control de postura, con la finalidad de determinar las poses para cada fase, también conocer el rango de ángulos de cada articulación de brazos y piernas y lograr que las estudiantes mejoren la técnica.
- El sistema de control de postura y velocidad implementado a través de técnicas de visión artificial y algoritmos pre-entrenados han permitido definir y estimar la postura en el patinador y también calcular la velocidad en el recorrido en pista permitiendo una corrección temprana de la postura en las patinadoras siendo esta una herramienta útil en el entrenamiento de patinaje de velocidad en la escuela “Chimborazo Skate”.
- Dados los resultados producto del análisis estadístico se ha determinado que el sistema fue eficiente en el entrenamiento del patinaje de velocidad puesto que existen cambios significativos en las medias y medianas de las variables. En cuanto a velocidad, antes del sistema la media fue de 7.286m/s y después de la utilización del sistema lograron una velocidad de 7.852m/s, esto indica que existió una mejora de 0.566m/s. Por otro lado, en postura se obtuvo una mediana de 3 y después del entrenamiento con el sistema este cambio a 4, es decir las deportistas pasaron de adoptar una postura buena a una excelente.

5.2 RECOMENDACIONES

- La luz ambiental es un factor para tener en cuenta en el estudio debido a que puede afectar en la detección de patinadores y reducir la efectividad de los algoritmos utilizados.
- Considerar las condiciones climáticas, dado que estas pueden afectar el vuelo del dron, ocasionando accidentes por la inestabilidad.
- Algunas limitaciones que se produjeron durante la investigación fueron inesperadas lesiones de patinadores con los que se contaba para realizar el estudio. Lo cual puede afectar los resultados de la investigación. Por lo cual se debe considerar la posibilidad de ampliar el número de deportistas en los cuales se va a desarrollar el estudio.
- Realizar el estudio en un mayor periodo de tiempo de entrenamiento con el sistema para obtener mejores resultados.
- Los resultados pueden variar ya que dependen también de la constancia del deportista y varios factores en la que no se puede modificar por parte del patinador.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. Albarracín, F. Jurado, L. Chuquitarco, and I. C. Proaño, “Análisis y corrección de la postura empleando la tecnología de la cámara KINECT,” *Ritsti*, pp. 227–236, Nov. 2019.
- [2] Abad Félix, “La habilidad motriz en la práctica del patinaje de velocidad de los niños de la Escuela Speed Skating Canton Puyo, provincia de Pastaza,” *Universidad Técnica de Ambato*, pp. 1–187, Jun. 2015.
- [3] D. Khemasuwan, J. S. Sorensen, and H. G. Colt, “Artificial intelligence in pulmonary medicine: Computer vision, predictive model and covid-19,” *European Respiratory Review*, vol. 29, no. 157, pp. 1–16, Sep. 2020, doi: 10.1183/16000617.0181-2020.
- [4] L. G. Aguilar Siguenza, “Diseño y desarrollo de un módulo para determinar la postura humana empleando técnicas de visión artificial y reconocimiento de patrones como herramienta de soporte en el desarrollo de la motricidad gruesa de niños con discapacidad,” *Universidad Politécnica Salesiana*, p. 57, 2020.
- [5] O. J. Reyes Ortiz, M. Mejia, and J. S. Useche Castelblanco, “Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su aplicación en el análisis de pavimentos,” *Revista EIA*, vol. 16, no. 31, pp. 189–207, Jan. 2019, doi: 10.24050/REIA.V16I31.1215.
- [6] J. M. Martínez José, “Sistema de Visión Artificial para la Detección y Corrección de Posturas,” *Universidad Autónoma del Estado de México*, Oct. 2018.
- [7] FCP, “CAMPEONES DEL MUNDO 2022,” *Federación Colombiana de Patinaje.*, Nov. 2022. <https://fedepatin.org.co/>
- [8] Carlos. Lugea, “Algunas Consideraciones sobre Biomecánica, Técnica y el Modelo Técnico en el Patinaje de Velocidad,” *Universidad Autónoma de Madrid*, 2020, [Online]. Available: http://roller-training.blogspot.com/2014/07/biomecanica-tecnica-y-modelo-tecnico-en_21.html
- [9] G. Cárdenas, “Diseño de un sistema sensorial para la medición de la presión en el pie al realizar la práctica en el patinaje de velocidad,” Universidad El Bosque, Bogotá, 2020. [Online]. Available: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/6359/Gabriela_C%C3%A1rdenas_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [10] R. V. Barros Carpintero and J. D. Prieto Diaz, “Fundamentos teóricos que existen respecto al proceso de entrenamiento de la técnica de patinaje de velocidad en los últimos 10 años en el mundo,” *UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA*, p. 38, Jun. 2018, [Online]. Available: www.ucundinamarca.edu.co
- [11] D. Moreno Cañas and A. Cano Guzmán, “Inteligencia Artificial en el Deporte Adaptado.” https://www.campusbigdata.com/difusion/Articulo_PFM_IA_Deporte_Adaptado.pdf
- [12] A. Toshev and C. Szegedy, “DeepPose: Human Pose Estimation via Deep Neural Networks,” *IEEE conference on computer vision and pattern recognition.*, pp. 1653–1660, 2014.
- [13] A. Badiola Bengoa and A. Mendez Zorrilla, “A Systematic Review of the Application of Camera-Based Human Pose Estimation in the Field of Sport and Physical Exercise,” *Sensors*, vol. 21, no. 18, p. 5996, Sep. 2021, doi: 10.3390/S21185996.
- [14] J. A. Rodrigo, “Random Forest con Python,” *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Oct. 13, 2020. https://www.cienciadedatos.net/documentos/py08_random_forest_python.html

- [15] Y. Agrawal, Y. Shah, and A. Sharma, "Implementation of machine learning technique for identification of yoga poses," *Proceedings - 2020 IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies, CSNT 2020*, pp. 40–43, Apr. 2020, doi: 10.1109/CSNT48778.2020.9115758.
- [16] Salinas Hernández Juan, "Sistema para el seguimiento de atletas en retransmisiones deportivas.," Universidad de Sevilla, Sevilla, 2020. Accessed: May 02, 2023. [Online]. Available: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/106371/TFG-3303-SALINAS%20HERNANDEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [17] SN, "La Visión Artificial en el deporte: del «replay» al control de «hooligans»," *INFAIMON*, 2020. <https://infaimon.com/blog/vision-2d-3d/vision-artificial-deporte/> (accessed May 02, 2023).
- [18] E. Sanchis López, "Sistema de visión artificial basado en una cámara estereoscópica para la medida de velocidad en entrenamiento de peso.," *Universidad Politécnica de Valencia*, Apr. 2022, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/181898>
- [19] B. R. Palacios Sánchez, "Sistema electrónico de monitoreo para la detección y corrección de posturas en ejercicios de levantamiento de potencia para deportistas.," *Universidad Técnica de Ambato*, Apr. 2021.
- [20] R. Martínez Méndez and M. Romero Huertas, "Uso de sensores inerciales en la medición y evaluación de movimiento humano para aplicaciones en la salud," *Universidad Autónoma del Estado de México*, vol. 20, 2015, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/263198667_Uso_de_sensores_inerciales_e_n_la_medicion_y_evaluacion_de_movimiento_humano_para_aplicaciones_en_la_salud/link/5783bfdd08ae37d3af6c0210/download
- [21] T. Yosuke, I. Tomoki, I. Koichi, and I. Shigeyuki, "Detection of Movement Events of Long-Track Speed Skating Using Wearable Inertial Sensors," *Sensors*, vol. 21, no. 11, p. 3649, May 2021, doi: 10.3390/S21113649.
- [22] D. J. Ruiz Rivera, "Valoración funcional en patinadores de velocidad de alto nivel: determinación de forma directa, mediante una prueba de campo, de la velocidad aeróbica máxima patinando.," *Universidade da Coruña*, 2015. [Online]. Available: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14745/RuizRivera_DanielJesus_TD_2015.pdf?sequence=4
- [23] J. Lozada Medina, "El patinaje de velocidad sobre ruedas, un libro de Zenga, Lollobrigida y Giorgi. Revisión literaria narrativa.," 2019. <https://rpcafd.com/index.php/rpcafd/article/view/14/16> (accessed May 04, 2023).
- [24] J. Acero, "Biomecánica integral para patinadores de carrera," Instituto de Investigaciones & Soluciones Biomecánicas, Cali, 2018.
- [25] V. M. Herrera Barzola, "El patinaje de pista para la corrección del pie varo y valgo en niños y niñas de 5 a 10 años.," *Universidad de Guayaquil*, Sep. 2021.
- [26] L. del R. Zamora Ruiz and R. Olivera Matos, "Vista de Diagnóstico del proceso de enseñanza-aprendizaje de las técnicas del patinaje de carrera," Jan. 15, 2019. <https://accion.uccfd.cu/index.php/accion/article/view/42/125> (accessed May 04, 2023).
- [27] D. J. Torres Fajardo, "Sistema inteligente con visión computacional para mejorar la postura en la fase de salida de los atletas con discapacidad física, mental e intelectual del club Oswen, Chiclayo-Perú.," *Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo*, 2021, Accessed: May 04, 2023. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0001-9220-5801>

- [28] E. S. Barahona Guamani, “Navegación autónoma basada en maniobras bajo estimación de posturas humanas para un robot omnidireccional kuka youbot.,” *Universidad Técnica de Ambato*, p. 97, 2019.
- [29] W. Rivas and M. Bertha, “Redes neuronales artificiales aplicadas al reconocimiento de patrones,” 2017.
- [30] A. Betancourt Uscátegui, A. E. Mujica Ballesteros, and H. D. Tapias, “Procesamiento difuso de imágenes: filtro difuso para eliminar el ruido impulsivo,” *Ingeniería (Bogotá)*, vol. 8, no. 2, pp. 40–46, 2003.
- [31] W. G. Loaiza, “Reconocimiento De Objetos Usando Técnicas De Inteligencia Artificial,” *Universidad Tecnológica De Pereira*, p. 57, 2020.
- [32] D. Ameijeiras Sánchez, H. R. González Diez, and Y. Hernández Heredia, “Revisión de algoritmos de detección y seguimiento de objetos con redes profundas para videovigilancia inteligente,” *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 14, no. 3, pp. 165–195, 2020, Accessed: May 04, 2023. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992020000300165&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [33] Google, “MediaPipe Pose landmarks detection,” 2023. https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker/ (accessed May 04, 2023).
- [34] P. Banerjee, “Mediapipe Pose,” 2023. <https://github.com/google/mediapipe/blob/master/docs/solutions/pose.md#overview> (accessed May 04, 2023).
- [35] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,” *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 779–788, 2016, Accessed: May 04, 2023. [Online]. Available: <http://pjreddie.com/yolo/>
- [36] Y. Aidouni, “Understanding YOLO and YOLOv2,” Jun. 25, 2019. <https://manalelaidouni.github.io/Understanding%20YOLO%20and%20YOLOv2.html> (accessed May 04, 2023).
- [37] M. P. Mario Gerardo, “Detección de incidentes automovilísticos usando técnicas de aprendizaje de máquina,” *Escuela Politécnica Nacional*, 2021.
- [38] J. Pérez Nasser, “Análisis de tráfico vehicular mediante visión artificial.,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Accessed: May 05, 2023. [Online]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29182/1/Tesis_t1535masc.pdf
- [39] B. Alfonso García, “Aplicación de aprendizaje profundo en la identificación de obstáculos en el trayecto de vehículos,” Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2018. Accessed: May 04, 2023. [Online]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17651/AlfonsoGarc%c3%adaBrayanSteven2018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [40] F. Mora Hernández, “Implementación de la transformada discreta de Fourier IFFT/FFT en un sistema embebido para automatizar un sistema de comunicación OFDMA,” Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2015. doi: 10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS.
- [41] S. Qiao, Y. Wang, and J. Li, “Real-time human gesture grading based on OpenPose,” *Proceedings - 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, CISP-BMEI 2017*, pp. 1–6, Feb. 2018, doi: 10.1109/CISP-BMEI.2017.8301910.

- [42] Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei, and Y. Sheikh, “OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields,” *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. 43, pp. 172–186, 2021, Accessed: May 04, 2023. [Online]. Available: <https://gineshidalgo.com>
- [43] Y. Okugawa, M. Kubo, H. Sato, and B. D. Viet, “Evaluation for the Synchronization of the Parade with OpenPose,” *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, vol. 6, no. 3, pp. 162–166, Dec. 2019, doi: 10.2991/JRNAL.K.191203.001.
- [44] M. Rovai, “Realtime Multiple Person 2D Pose Estimation using TensorFlow2.x,” *Towards Data Science*, 2020. <https://towardsdatascience.com/realtime-multiple-person-2d-pose-estimation-using-tensorflow2-x-93e4c156d45f> (accessed May 04, 2023).
- [45] E. Ferran Pérez, “Clasificación y corrección de posturas humanas en dispositivos móviles,” Universidad de Valencia, Valencia, 2021.
- [46] K. Raju, “Exercise detection and tracking using MediaPipe BlazePose and Spatial-Temporal Graph Convolutional Neural Network,” National College of Ireland, 2022.
- [47] A. Fidiás G, *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*, 6th ed. Caracas: Editorial Episteme, 2015.
- [48] SN, “¿Qué es la investigación descriptiva?,” May 2020. <https://tiposdeinvestigacion.review/que-es-la-investigacion-descriptiva/> (accessed May 04, 2023).
- [49] G. P. Guevara Alban, A. E. VerdesotoArguello, and N. E. Castro Molina, “Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción),” *RECIMUNDO*, vol. 4, no. 3, pp. 163–173, Jul. 2020, doi: 10.26820/RECIMUNDO/4. (3).JULIO.2020.163-173.
- [50] C. Ojeda, “Desarrollo de un Sistema de Control en Lazo Cerrado para la Planta de Proceso Térmico de la Empresa Barbados’S Beer para la Producción de Cerveza Artesanal,” *Universidad Politécnica Salesiana*, Sep. 2022.
- [51] TELLO, “Manual del usuario,” 2018, Accessed: May 06, 2023. [Online]. Available: https://dl-cdn.ryzerobotics.com/downloads/Tello/201806mul/Tello%20User%20Manual%20V1.0_ES.pdf
- [52] A. G. Howard *et al.*, “MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications,” 2017.

7. ANEXOS

Anexo A. Carta de apoyo de la Escuela de Patinaje “Chimborazo Skate” al proyecto de investigación.



Riobamba, 12 de Julio del 2022.

A la Facultad de Ingeniería de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo.

De mi consideración:

Por este medio me permito dar a conocer nuestro total apoyo a la Srta. **Deysi Tamara González González** con C.I. **0302702840** y el Sr. **Dario Javier Muñoz Muñoz** con C.I. **0603930579** que desarrollarán e implementarán su Proyecto de Investigación en el **CENTRO DE PATINAJE DE RIOBAMBA** como requisito fundamental para su graduación como Ingenieros en Electrónica y Telecomunicaciones.

Somos conscientes de que la colaboración es vital para el avance científico y tecnológico de nuestro país, por lo que reitero mi total compromiso de colaborar para el desarrollo correspondiente

Atentamente

Jorge Murillo
CI: 0601263544
**PRESIDENTE DEL CLUB
CHIMBORAZO SKATE**

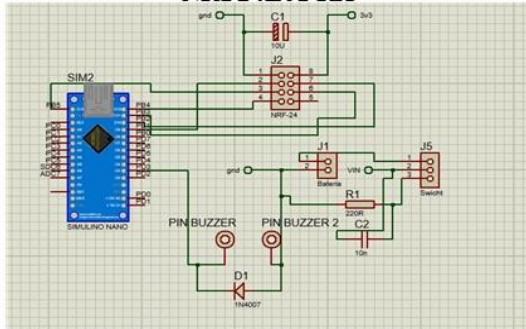
Marthyn Contreras
CI 20485489
**INSTRUCTOR DEL CLUB
CHIMBORAZO SKATE**

**Patinaje de Velocidad
RIOBAMBA**

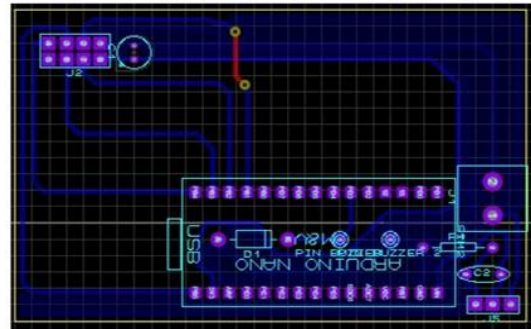
Anexo B. Diagrama de Conexiones del Circuito Electrónico NRF24L01.

Diagramas de conexiones NRF24L01 RX

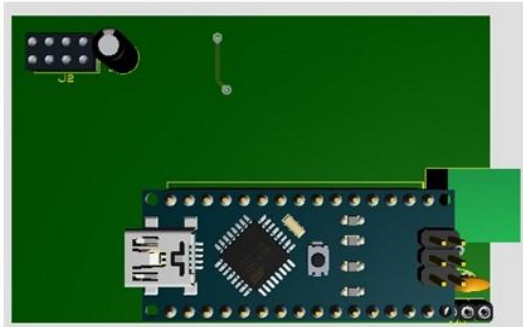
Circuito electrónico del módulo
NRF24L01 RX



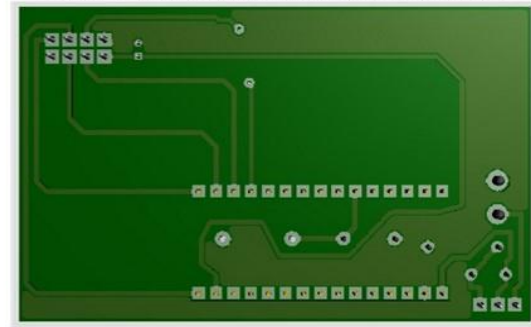
Diseño para PCB



Diseño 3D de la placa RX vista frontal



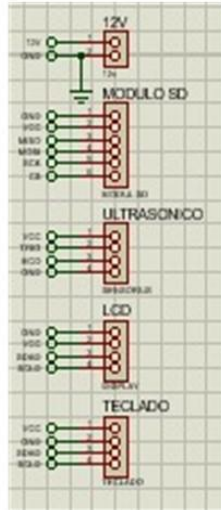
Diseño 3D de la placa RX vista trasera



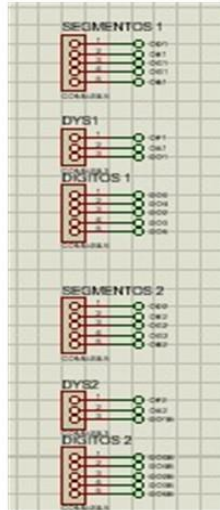
Anexo C. Diagrama de Conexiones del Circuito Electrónico del Tablero Digital.

Diagramas de conexiones Tablero

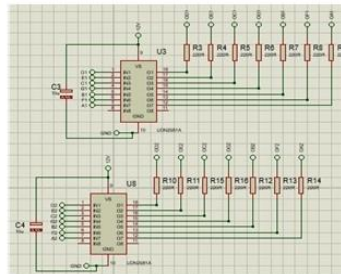
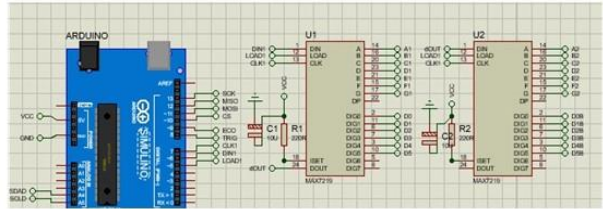
Conexión de sensores y alimentación



Conexión Pines del Display cátodo común

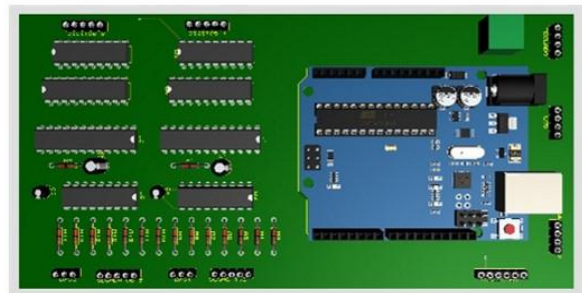
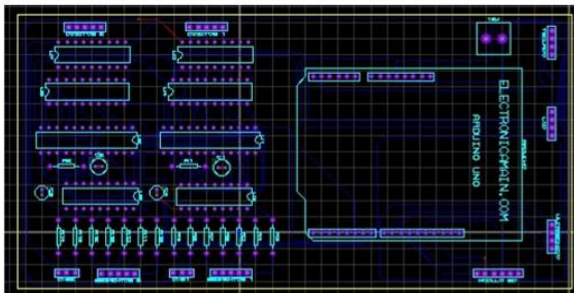


Conexión Arduino y Módulo Max7219



Conexión Módulo Udn2981

Conexión para PCB y diseño 3D del circuito del Tablero Digital



Anexo D. Resultados de la encuesta realizada del 23-01-2023 al 25-01-2023, a los 18 estudiantes de la escuela de patinaje

Tabla 35 Resultados de la encuesta.

Fuente: Autores.

Nombre y Apellido	Género	Edad	Tiempo entrenando	Lesiones recurrentes
Jhosmary Rodríguez	Femenino	5	Menos de 1 año	Ninguna
Micaela Santos	Femenino	9	Más de 3 años	Golpes fuertes
Erick Carrera	Masculino	6	Menos de 1 año	Golpes fuertes
Arely Morales	Femenino	8	Más de 1 año	Golpes fuertes
Agatha García	Femenino	7	Más de 1 año	Golpes fuertes
Ian Mateo Cespedes	Masculino	5	Menos de 1 año	Golpes fuertes
Aroma Pérez	Femenino	6	Menos de 1 año	Golpes fuertes
Emily Carrillo	Femenino	6	Más de 1 año	Golpes fuertes
Sophia Ortega	Femenino	14	Mas de 5 años	Fracturas
Isabel Murillo	Femenino	9	Mas de 5 años	Fracturas
Anahí Jara	Femenino	14	Mas de 5 años	Fracturas
Jarick Sánchez	Femenino	12	Menos de 1 año	Golpes fuertes
Daniela Sulay Villa	Femenino	11	Más de 3 años	Golpes fuertes
Emilia Procel	Femenino	11	Menos de 1 año	Golpes fuertes
Ian Céspedes	Masculino	8	Menos de 1 año	Golpes fuertes
Mateo Jara Chávez	Masculino	18	7 años	Hernias en pantorrillas
Galilea López	Femenino	17	Mas de 5 años	Golpes fuertes
Isabel Moya	Femenino	12	Más de 1 año	Rotura del bíceps femoral

Anexo E. Test de evaluación.

- Modelo del Test de evaluación para la semana 1.

**Escuela de patinaje “Chimborazo Skate”
Evaluación de Rendimiento
Grupo Intermedio**

Fecha: ___ de _____ del _____

Día: ___

Nombre del estudiante: _____

1. Prueba 1.

Número Total de Vueltas	
Tiempo Total	
Velocidad Total	

2. Prueba 2.

Número Total de Vueltas	
Tiempo Vuelta 1.	
Tiempo Vuelta 2.	
Tiempo Total	
Velocidad Total	

Postura:

Mala Regular Buena Excelente

Técnica:

Mala Regular Buena Excelente

Resistencia (Numero de vueltas en 10 Min al 100%):

Total, de vueltas: _____

Mala Regular Buena Excelente

Observaciones:

.....
.....
.....

- Modelo del Test de evaluación para la semana 2.

**Escuela de patinaje “Chimborazo Skate”
Evaluación de Rendimiento
Grupo Intermedio**

Fecha: ___ de _____ del _____

Día: ___

Nombre _____

del _____

estudiante: _____

1. Prueba 3.

Número Total de Vueltas	
Tiempo Vuelta 1	
Tiempo Vuelta 2	
Tiempo Vuelta 3	
Tiempo Vuelta 4	
Tiempo Vuelta 5	
Tiempo Total	
Velocidad Total	

Postura:

Mala

Regular

Buena

Excelente

Técnica:

Mala

Regular

Buena

Excelente

Resistencia (Numero de vueltas en 10 Min al 100%):

Total, de vueltas: _____

Mala

Regular

Buena

Excelente

Observaciones:

.....

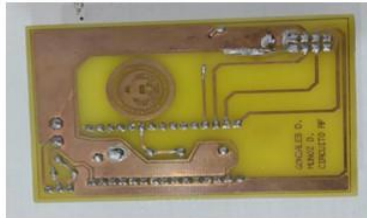
Anexo F. Fotos de la evidencia del diseño, construcción e implementación del proyecto de investigación.

Diseño e implementación de los circuitos electrónicos.

Construcción de placa PCB



Construcción PCB del RF

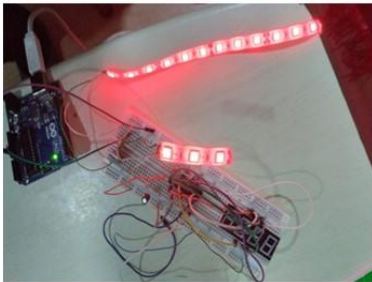


Implementación de PCB



Diseño y construcción del tablero digital.

Prueba con Tira LED



Diseño en CorelDRAW



Impresión en 3D.



Tablero impreso en acrílico.



Conexiones en el Tablero



Tablero funcionando



Montaje



Prototipo Final



Estructura metálica



Entrenamientos de Técnica

Posición de inicio



Control de tronco y piernas



Brazeo y extensión de pierna



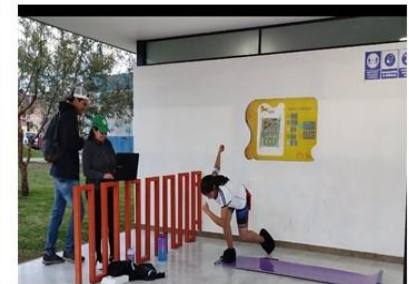
Control de pierna con barra



Técnica en Individual



Técnica en Tabla

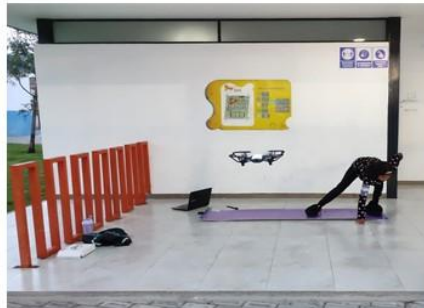


Pruebas de funcionamiento con el Sistema

Puesta en escena



Posicionamiento del Dron



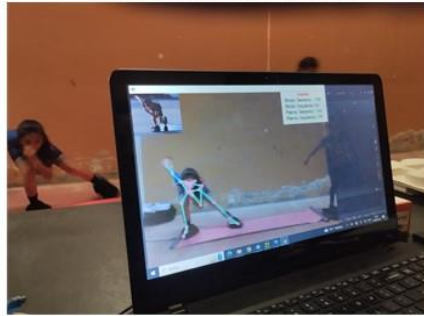
Monitor eo



Reconocimien to de articulaciones



Prueba 1 con el sistema



Sistema implementado



Pruebas de funcionamiento con el Sistema

Prueba en Fase 1



Prueba Fase 2



Prueba Fase 3



Prueba en Fase 4



Prueba en Fase 2



Prueba Fase 3



Notificación en Fase 1



Notificación en Fase 2



Notificación en Fase 3



Notificación en Fase 4



Notificación en Fase 2



Notificación en Fase 4

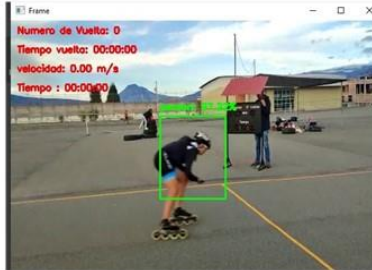


Pruebas de funcionamiento de Velocidad

Arranque



Detección de Persona



Estimación de velocidad



Estimación de velocidad en tablero



Conteo de vueltas



Tiempo Total en 5 Vueltas



Entrega del Proyecto

Entrega del Proyecto



Patinadoras de la escuela de patinaje



Entrega del Proyecto



Estiramiento



Ejercicio de Salida



Ejercicios de Resistencia



Anexo G. Enlace de la codificación y demás anexos.

<https://gitlab.com/dariojaviermunozmunoz/implementacion-de-un-sistema-de-control-de-postura-y-velocidad-en-el-patinaje-de-velocidad-basado-en-procesamiento-de-imagenes.git>

Anexo H. Carta de validación de la Escuela de Patinaje “Chimborazo Skate”



Riobamba, 13 de abril del 2023.

SEÑORES.

Escuela De Ingeniería en Electrónica Y Telecomunicaciones
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
Presente. –

De nuestra consideración:

A nombre de todos los que conformamos la escuela de patinaje “CHIMBORAZO SKATE” les extendemos nuestros más sinceros saludos y éxitos en sus funciones.

Por medio de la presente tiene la finalidad de validar el proyecto de investigación “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSTURA Y VELOCIDAD EN EL PATINAJE DE VELOCIDAD BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES”, desarrollado por los estudiantes Dario Javier Muñoz Muñoz y Deysi Tamara González González; en virtud de lo solicitado se procedió a constatar el diseño y la funcionalidad de los dispositivos en las instalaciones de entrenamiento de nuestra escuela. Entonces, cumplimos con informar que esta investigación cumple con todos los objetivos y requerimientos solicitados por nosotros, permitiendo un avance tecnológico significativo en nuestra institución el cual permitirá un mejor desarrollo en nuestros deportistas.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Atentamente:

Jorge Muñillo
CI: 0601263544
**PRESIDENTE DEL CLUB
CHIMBORAZO SKATE**

Marthyn Contreras
PAS: 154401131
**INSTRUCTOR DEL CLUB
CHIMBORAZO SKATE**

**Patinaje de Velocidad
RIOBAMBA**