



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SEGUIMIENTO
CORPORAL UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA
ANÁLISIS DE MARCHA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR:

JHOAN DAVID PILLAPA LLERENA

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SEGUIMIENTO CORPORAL UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA ANÁLISIS DE MARCHA”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: JHOAN DAVID PILLAPA LLERENA

DIRECTOR: ING. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMÍREZ PHD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Jhoan David Pillapa Llerena

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jhoan David Pillapa Llerena declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 8 de noviembre del 2022



Jhoan David Pillapa Llerena

C.I. 1850265487

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de Investigación, **DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SEGUIMIENTO CORPORAL UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL PARA ANÁLISIS DE MARCHA**, realizado por el señor: **JHOAN DAVID PILLAPA LLERENA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dra. Lourdes Zúñiga PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-08
Ing. Jefferson Ribadeneira PhD DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-08
Ing. Fabricio Santacruz MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-11-08

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a las principales personas que han formado parte de mi vida. A mi mami, mi hermano, mis abuelos y a quienes integran mi hogar, los cuales fueron apoyo moral y motor para conseguir alcanzar mi meta en esta etapa de mi vida.

Jhoan

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y fuerza para seguir adelante; a mi mami, a mis abuelos, a mi hermanito por ser quienes me apoyaron en cada faceta de mi vida, a mi familia más cercana por darme una mano cuando más lo necesitaba. Sentido de agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma fueron apoyo para alcanzar este escalón más de mi vida personal y profesional. Finalmente quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo por las enseñanzas impartidas por medio de sus docentes y especial agradecimiento al Ing. Jefferson Ribadeneira quien, me ha guiado en la realización mediante su conocimiento, experiencia y sus consejos en la realización de este trabajo.

Jhoan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCION	1

CAPITULO I

1	Problema De Investigación.....	2
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2	LIMITACIONES Y DELIMITACIONES.....	2
1.3	PROBLEMA GENERAL DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.4	PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.5	OBJETIVOS	3
1.5.1	<i>OBJETIVO GENERAL</i>	3
1.5.2	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	3
1.6	JUSTIFICACIÓN	3
1.6.1	<i>Justificación Teórica</i>	3
1.6.2	<i>Justificación Metodológica</i>	4
1.6.3	<i>Justificación Aplicativa</i>	5

CAPITULO II

2	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.2	REFERENCIAS TEÓRICAS.....	6

2.2.1	<i>Seguimiento corporal</i>	6
2.2.2	<i>Tecnologías para Seguimiento Corporal</i>	7
2.2.2.1	<i>Electromecánico</i>	8
2.2.2.2	<i>Electromagnéticos</i>	9
2.2.2.3	<i>Inerciales</i>	9
2.2.2.4	<i>Sistemas ópticos con marcadores pasivos y activos</i>	10
2.2.2.5	<i>Sistemas sin marcadores</i>	12
2.2.3	<i>Visión artificial</i>	13
2.2.4	<i>Biomecánica</i>	13
2.2.5	<i>Análisis de marcha</i>	14
2.2.6	<i>Software de desarrollo</i>	17
2.3	FUNCIONAMIENTO DE MEDIAPIPE	24
2.3.1	<i>Redes neuronales</i>	24
2.3.2	<i>Red neuronal convolucional (CNN)</i>	25
2.3.3	<i>Modelos de detección de persona / pose (detector BlazePose)</i>	26
2.3.4	<i>BlazePose</i>	27
2.3.5	<i>Modelo Pose Landmark (BlazePose 3D)</i>	27
2.3.5.1	<i>Estimación de la postura humana a través segmentación de la regresión del mapa de calor</i>	27
2.3.5.2	<i>Descripción general tubería de ML para el seguimiento de pose</i>	29

CAPITULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	31
3.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	31
3.3	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	31
3.3.1	<i>Según la Manipulación de la variable Independiente</i>	33
3.3.2	<i>Según las intervenciones en el trabajo de Campo</i>	32
3.4	TIPO DE ESTUDIO	32
3.5	POBLACION Y PLANIFICACION	32
3.5.1	<i>Características de la Población</i>	33
3.5.2	<i>Resultadosde la Encuesta de Aplicabilidad</i>	33
3.6	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	32
3.6.1	<i>Características de la población encuestada</i>	33
3.6.2	<i>Tipo de investigación</i>	33

3.6.3	<i>Métodos de investigación</i>	33
3.6.4	<i>Técnicas de Investigación</i>	34
3.7	SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE SEGUIMIENTO	34
3.8	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROTOTIPO	35
3.9	EQUIPOS Y MATERIALES	37
3.9.1	<i>Computador</i>	37
3.9.2	<i>Teléfono Celular</i>	38
3.9.3	<i>Router inalámbrico</i>	38
3.9.4	<i>Trípode</i>	39
3.9.5	<i>Conos de seguridad</i>	40
3.10	PROCEDIMIENTOS PARA EL SISTEMA	40
3.10.1	<i>Desarrollo del prototipo</i>	40
3.10.1.1	<i>Librerías y modulos</i>	40
3.10.1.2	<i>Ventana de inicio</i>	41
3.10.1.3	<i>Ventana secundaria</i>	42
3.10.1.4	<i>Desarrollo general del proyecto</i>	42
3.10.1.5	<i>Obtención de tiempo y fotogramas por segundo</i>	44
3.10.1.6	<i>Estimación de pose</i>	44
3.10.1.7	<i>Visualización de ángulos obtenidos</i>	45
3.10.1.8	<i>Módulo de funciones</i>	46
3.10.2	<i>Regresión polinómica</i>	48
3.10.3	<i>Ciclo de marcha</i>	49
3.10.4	<i>Conexión con las cámaras</i>	50
3.10.4.1	<i>Conexión mediante iVCam</i>	50
3.10.4.2	<i>Conexión mediante Iriun</i>	50
3.10.5	<i>Implementación del prototipo</i>	52

CAPITULO IV

4	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	53
4.1	RESULTADOS	53
4.1.1	<i>Escenario Indoor</i>	53
4.1.1.1	<i>Pruebas realizadas en niño pequeño</i>	53
4.1.1.2	<i>Pruebas realizadas en paciente femenino</i>	56
4.1.1.3	<i>Pruebas realizadas en paciente masculino</i>	58
4.1.1.4	<i>Pruebas realizadas en paciente adulto masculino con problemas al caminar</i>	60

4.2	RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE APLICABILIDAD	62
4.2	PRESUPUESTO DEL TRABAJO	62

CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES	70

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Ventajas y Desventajas de Sistemas de seguimiento corporal con y sin marcadores	13
Tabla 2-2: Soluciones de MediaPipe de ML personalizables y multiplataforma de código abierto para diferentes lenguajes de programación	23
Tabla 1-3: Tabla comparativa de tecnologías de seguimiento corporal	34
Tabla 2-3: Características del computador Lenovo Legion Y545.....	37
Tabla 3-3: Características de los dispositivos Xiaomi Redmi Note 9s.....	38
Tabla 4-3: Características del router tp-link TL-WR840N.....	39
Tabla 5-3: Puntos de referencia para codos, cadera, rodilla, tobillo	47
Tabla 1-4: Presupuesto del trabajo	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Funcionamiento del sistema	5
Ilustración 1-2: Ejemplos de estimación de pose con MediaPipe	7
Ilustración 2-2: Aplicaciones de la captura de movimiento (a) animación digital, (b)centro de interfaces (en videojuegos, pantallas simuladoras), (c)rehabilitación, (d) diseño ergonómico y (e)rendimiento deportivo	8
Ilustración 3-2: Clasificación de sistemas de captura de movimiento.....	8
Ilustración 4-2: Sistema de seguimiento corporal Electromecánico.	9
Ilustración 5-2: Sistema de seguimiento corporal Electromagnético.	9
Ilustración 6-2: Sistema de seguimiento corporal Inercial.	10
Ilustración 7-2: Marcadores pasivos con el uso de esferas reflectantes	11
Ilustración 8-2: Captura de movimiento mediante sistema de marcadores pasivos	11
Ilustración 9-2: Marcadores activos con su propia fuente de luz	12
Ilustración 10-2: Captura de movimiento mediante sistema de marcadores activos	12
Ilustración 11-2: Sistemas sin marcadores: (a) Multicámara, (b) Cámara de profundidad, (c) Sobre video pregrabado	12
Ilustración 12-2: Fases del ciclo normal de marcha.....	15
Ilustración 13-2: Fases del ciclo normal de marcha en relación con el porcentaje del ciclo de marcha	16
Ilustración 14-2: Patrón normal del ciclo de marcha	17
Ilustración 15-2: Conexión remota entre teléfono y computador mediante iVCam	18
Ilustración 16-2: Comando NumPy para generar un arreglo y representación del NumPy Array	19
Ilustración 17-2: Representación de tablas de Pandas	19
Ilustración 18-2: Tipos de gráficas, generalmente y versus x.	20
Ilustración 19-2: Gráficos estadísticos.....	20
Ilustración 20-2: Descripción general de la canalización holística de MediaPipe.....	22
Ilustración 21-2: Soluciones de ML MediaPipe	23
Ilustración 22-2: Diagrama de una Neurona Biológica comparada con un Perceptrón	25
Ilustración 23-2: Ejemplo de red neuronal convolucional para extracción y clasificación de imágenes.....	25
Ilustración 24-2: Red Neuronal Convolucional	26
Ilustración 25-2: Hombre de Vitruvio alineado a través de dos puntos clave virtuales predichos por el detector BlazePose, además de la caja delimitadora de la cara.	26

Ilustración 26-2: Puntos de referencia del modelo Pose Landmark	27
Ilustración 27-2: Arquitectura de red de seguimiento: regresión con supervisión de mapa de calor	28
Ilustración 28-2: Estimación de la postura humana a través de la regresión del mapa de calor de la parte convolucional.....	28
Ilustración 29-2: Mapa de Calor para la detección de postura	29
Ilustración 30-2: Descripción general de la tubería de estimación de postura humana	30
Ilustración 1-3: Diagrama de flujo del prototipo.....	36
Ilustración 2-3: Lenovo Legion Y545	37
Ilustración 3-3: Xiaomi Redmi Note 9s	38
Ilustración 4-3: tp-link TL-WR840N.....	39
Ilustración 5-3: Trípode.....	39
Ilustración 6-3: Conos de seguridad.	39
Ilustración 7-3: Ventana de inicio.....	41
Ilustración 8-3: Ventana de configuración.....	42
Ilustración 9-3: Puntos de calibración para el escenario	43
Ilustración 10-3: Selección de los puntos de referencia. Lado derecho: triángulo formado por los puntos de referencia	47
Ilustración 11-3: Ciclo de Marcha Normal: (a) cadera, (b) rodillas y (c) tobillos.	49
Ilustración 12-3: Conexión de cámaras con iVCam.....	51
Ilustración 13-3: Conexión de Cámaras con Iriun: (a) Aplicación Iriun para escritorio, (b) Aplicación Iriun para Android.	51
Ilustración 14-3: Proceso de ubicación de las cámaras	52
Ilustración 15-3: Implementación del prototipo en el laboratorio de microondas.....	52
Ilustración 1-4: Escenario Indoor	53
Ilustración 2-4: Gráfica de ángulos de cadera, rodillas y tobillo, en función del tiempo en función del tiempo en niño pequeño	54
Ilustración 3-4: Gráfica del Ciclo de marcha en niño pequeño	55
Ilustración 4-4: Diagrama de Cajas de ángulos de niño pequeño.....	55
Ilustración 5-4: Gráfica de ángulos de cadera, rodillas y tobillo, en función del tiempo en paciente femenino.....	56
Ilustración 6-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente femenino	57
Ilustración 7-4: Diagrama de Cajas de ángulos de paciente femenino.....	57
Ilustración 8-4: Gráfica de ángulos de cadera, rodillas y tobillo, en función del tiempo en paciente masculino.....	58
Ilustración 9-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente masculino	59
Ilustración 10-4: Diagrama de Cajas de ángulos de paciente masculino.....	55

Ilustración 11-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente adulto masculino con problemas al caminar	60
Ilustración 12-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente adulto masculino con problemas al caminar	61
Ilustración 13-4: Diagrama de Cajas de ángulos de paciente adulto	61
Ilustración 14-3: Resultados de la Pregunta 1 en la Encuesta de Aplicabilidad	30
Ilustración 15-3: Resultados de la Pregunta 2 en la Encuesta de Aplicabilidad	30
Ilustración 16-3: Resultados de la Pregunta 3 en la Encuesta de Aplicabilidad	30
Ilustración 17-3: Resultados de la Pregunta 4 en la Encuesta de Aplicabilidad	64
Ilustración 18-3: Resultados de la Pregunta 5 en la Encuesta de Aplicabilidad	30
Ilustración 19-3: Resultados de la Pregunta 6 en la Encuesta de Aplicabilidad	30
Ilustración 20-3: Resultados de la Pregunta 7 en la Encuesta de Aplicabilidad	30
Ilustración 21-3: Resultados de la Pregunta 8 en la Encuesta de Aplicabilidad	65
Ilustración 22-3: Resultados de la Pregunta 9 en la Encuesta de Aplicabilidad	30
Ilustración 23-3: Resultados de la Pregunta 10 en la Encuesta de Aplicabilidad	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Regresión polinomial con 2 variables: X_1 y X_2	22
Ecuación 1-3: Ecuación de fotogramas por segundo.....	44
Ecuación 2-3: Teorema del coseno	47
Ecuación 3-3: Ecuación de normalización de ángulos.....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Instalación de librerías

Anexo B: Verificación de librerías instaladas

Anexo C: Instalación de cámaras adicionales con iVCam

Anexo D : Convertir un script de Python en un archivo ejecutable (.exe)

Anexo E: Configuración cámaras con iVCam

Anexo F: Manual de uso del programa

Anexo G: Proceso de ubicación y calibración de las cámaras en escenario Indoor en el laboratorio de Microondas de la Facultad de Informática y Electrónica.

Anexo H: Implementación del sistema en la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay Montesdeoca”

Anexo I: Encuesta de Aplicabilidad

Anexo J: Capacitación del sistema de análisis de marcha y evaluación de la encuesta de aplicabilidad a fisioterapeutas de la unidad Educativa Especializada "Carlos Garbay"

Anexo K: Donación del sistema de análisis de marcha y demostración en la Unidad Educativa Especializada "Carlos Garbay"

Anexo L: Tabla de valores obtenido y guardados como *DataFrame*

RESUMEN

El objetivo del estudio fue desarrollar un prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial para el análisis de marcha. En el que, para empezar con la ejecución de este proyecto, se planteó la problemática examinada en torno al tema de estudio. Se recopiló la suficiente información y documentación para el análisis de los factores y parámetros requeridos en el procesamiento de información. El proyecto se desarrolló en tres etapas; la primera etapa consistió en estudiar las diversas tecnologías de seguimiento corporal y seleccionar la tecnología y herramientas que usen redes neuronales para poder procesar las imágenes. La segunda etapa consistió en el diseño y desarrollo de algoritmos necesarios en el prototipo de seguimiento corporal para el análisis de marcha enfocado en el ciclo de marcha. Se planteó un escenario en el que se estableció un punto de partida y un punto final mediante conos, distancia entre los conos de seguridad es de 1,90 m, las distancias entre el centro del escenario y la cámara 1 de la vista lateral es de 1,90 m, la distancia entre la cámara 2 de la vista posterior es de 2 m. La altura de las cámaras debe estar a 75 cm. La tercera etapa se basó en implementación del sistema mediante un programa ejecutable y que procese las imágenes adquiridas proporcionada por los dispositivos móviles conectados inalámbricamente mediante una red WLAN, para así realizar pruebas de funcionamiento. Se concluye que el prototipo servirá como herramienta de soporte para el análisis de marcha para operadores del ámbito, el proyecto abre un enfoque viable con hardware de bajo coste brindando así una solución de soporte para análisis de marcha económica y eficiente, en contraste con laboratorios especializados, orientado en capturar el movimiento y la locomoción humana. Se recomienda en estudios de seguimiento corporal realizar estudio y desarrollo de más utilidades para el análisis de marcha y la locomoción humana mediante la visión por ordenador.

Palabras clave: <SEGUIMIENTO CORPORAL>, <VISION ARTIFICIAL>, <REDES NEURONALES>, <ANALISIS DE MARCHA>, <CICLO DE MARCHA >



SUMMARY

The objective of the study was to develop a body tracking prototype using machine vision for gait analysis. Initially, the problem examined around the subject of study was raised. Sufficient information and documentation were collected for the analysis of the factors and parameters required in the processing of information. The project was developed in three stages; The first stage consisted of studying the various body tracking technologies and selecting the technology and tools that use neural networks to process the images. The second stage consisted of the design and development of the necessary algorithms in the body tracking prototype for gait analysis focused on the gait cycle. A scenario was proposed in which a starting point and an end point were established by means of cones, the distance between the safety cones is 1.90 m, the distances between the center of the stage and camera 1 of the side view is of 1.90 m, the distance between camera 2 of the rear view is 2 m. The height of the cameras must be 75 cm. The third stage was based on the implementation of the system through an executable program that processes the acquired images provided by mobile devices connected wirelessly through a wireless local area network (WLAN), in order to perform performance tests. It is concluded that the prototype will serve as a support tool for gait analysis for operators in the field, the project opens a viable approach with low-cost hardware, thus providing a support solution for economical and efficient gait analysis, in contrast to specialized laboratories, focused on capturing human movement and locomotion. It is recommended in body tracking studies to study and develop more utilities for gait analysis and human locomotion through computer vision.

Keywords: <BODY TRACKING>, <ARTIFICIAL VISION>, <NEURAL NETWORKS>, <GAIT ANALYSIS>, <GAIT CYCLE>.



MSc. Wilson G. Rojas

C.I 0602361842

INTRODUCCION

El seguimiento corporal utilizado en la metrología es uno de los temas más interesantes y desafiantes en el área del movimiento humano. La estimación y seguimiento de pose es una tarea común de visión por ordenador que utilizando cámaras y redes neuronales para realizar tareas de procesamiento de imágenes que simulan la visión humana; dichas tareas son la detección, asociación y rastreo de los puntos clave del cuerpo. Estos puntos clave suelen ubicarse en las manos, codos, hombros, cadera y piernas.

Enfermedades neurológicas y musculoesqueléticas, como los accidentes cerebrovasculares, problemas de la marcha y equilibrio, pueden ser detectados utilizando visión por computadora e inteligencia artificial, incluso sin el análisis de un médico. Las aplicaciones de visión por computadora de estimación de postura que analizan el movimiento del paciente pueden ayudar a los médicos a diagnosticar a un paciente con facilidad y mayor precisión (Vidushi 2022a).

En contraparte el procesamiento de video en vivo requiere de altos recursos computacionales. Sin embargo, con los últimos avances en nuevas tecnologías es posible hacer sistemas más eficientes que no requieran demasiados recursos computacionales. Actualmente, los modelos más potentes se basan en redes neuronales convolucionales (CNN por sus siglas en inglés), y esta arquitectura es el estado del arte en el análisis de la postura humana.

Como una solución para la detección de postura se utilizan sistemas basados en visión artificial, que tratan de asemejarse a la visión humana con el uso de dos cámaras. La reconstrucción de posición y profundidad se realiza comparando y procesando los fotogramas obtenidos por las cámaras en un mismo tiempo. Para la detección de posición de puntos específicos en el cuerpo las soluciones de seguimiento corporal se basan en sistemas con marcadores y sin marcadores; En ambientes controlados sin oclusiones la estimación sin marcadores es de principal interés ya que no requiere de equipo especializado que puede ser costoso y de manejo complejo.

CAPITULO I

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento Del Problema

El análisis de marcha es una disciplina de análisis clínico para determinar ciertas afecciones médicas relacionadas al movimiento y la locomoción, en el mercado existen soluciones de empresas como BTS GAITLAB o CONTEMPLAS mediante el uso de cámaras y equipos para su funcionamiento. Los equipos son costosos y solo son encontrados en centros y laboratorios especializados, lo que dificulta el acceso a personas que requieran un diagnóstico.

Las tecnologías de seguimiento corporal en la actualidad han evolucionado a la par que el procesamiento computacional para soportar los procesos de visión por ordenador. Por lo cual, en el presente proyecto se desarrolló un prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial para análisis de marcha, mediante la utilización de dispositivos asequibles y software de desarrollo disponibles.

1.2 Limitaciones Y Delimitaciones

Una limitación del proyecto es la capacidad computacional para poder ejecutar los algoritmos de estimación de pose. Como parte de las delimitaciones se tiene que el proyecto está enfocado en el análisis de marcha, más concretamente en el ciclo de marcha de una persona, usando estimación de pose mediante el uso de visión artificial.

1.3 Problema General De Investigación

¿Cómo desarrollar un prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial para análisis de marcha?

1.4 Problemas Específicos De Investigación

- ¿Qué tecnologías se utilizan para estudiar el seguimiento corporal?

- ¿Qué tecnología y herramientas seleccionar para utilizar en la implementación del sistema?
- ¿Cómo desarrollo del prototipo de seguimiento corporal?
- ¿Cómo realizar pruebas de funcionamiento del sistema?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial para análisis de marcha

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las tecnologías para seguimiento corporal existentes
- Seleccionar la tecnología y herramientas a utilizar para la implementación del sistema
- Desarrollar el prototipo de seguimiento corporal utilizando redes neuronales
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1 Justificación Teórica

El presente proyecto de investigación planea aportar al seguimiento corporal para el análisis de marcha mediante la estimación de pose humana y haciendo uso de visión artificial. Así pues, el seguimiento corporal es un área que se ha de desarrollado con los años, utilizar esta tecnología en el análisis de marcha supondría una reducción drástica en los costes de los equipos. El skeleton tracking (seguimiento del esqueleto) de la pose de personas es aplicable en múltiples campos como videovigilancia, mejoras en los procesos quirúrgicos, en telemedicina en la que el medico pueda diagnosticar al paciente con más efectividad, y uno de los usos más relevantes en la actualidad son los metaversos y realidad aumentada.

El desarrollo de un sistema sin marcadores utilizando cámaras de bajo costo para el análisis de marcha y rastrear la cinemática que plantean Zago et al (2020), con cámaras de bajo costo y con la librería OpenPose programada en Python; lograron determinar que con una separación entre las cámaras de 1.8 m a una altura de 2.3 m con una resolución FullHD y sin oclusiones, se tienen muy buenos resultados frente al sistema BTS GAITLAB (laboratorio completo para el análisis clínico del movimiento) conformado por 8 cámaras y 6 sensores. Los hallazgos de este trabajo confirman la viabilidad de rastrear la cinemática y el análisis de marcha de un solo sujeto en un espacio 3D.

Entre las soluciones profesionales existentes se tiene: la solución tecnológica BTS GAITLAB, que es todo un laboratorio para el análisis clínico del movimiento y marcha. El sistema propietario está formado por 8 cámaras, 6 sensores y 8 sondas inalámbricas. Este sistema es adquirido por cientos de laboratorios clínicos en todo el mundo. Cabe destacar BTS GAITLAB tienen un *background* de 30 años de experiencia e investigación; validados por la Comunidad Científica Internacional para el análisis de electromiografía (EMG), cinemático y de movimiento dinámico (BTS Bioingeniería 2021). Por otro lado, la empresa CONTEMPLAS con 15 años de experiencia en el análisis de movimiento, cuenta con un catálogo con múltiples dispositivos entre cámaras de alta resolución, marcadores esféricos etc. Esta solución es utilizada en el análisis de deportes como: *swimming analysis, running analysis, reatil runnig analysis, sprint start analisis, etc.*, soluciones en salud en *gait analisis, posture analisis, etc.* (CONTEMPLAS 2022). Ambas soluciones son de alto coste y en muchos casos difícil acceso para personas.

Con estos antecedentes, es primordial desarrollar una solución tecnológica que sea de fácil acceso y uso para cualquier persona. El prototipo de análisis de marcha tiene relevancia en la salud de las personas.

1.6.2 Justificación Metodológica

Para lograr los objetivos de estudio, se tiene como enfoque la investigación Cualitativa y su procesamiento en software para realizar el análisis de marcha a partir del desarrollo del prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial. Con ello se pretende conocer las tecnologías para el seguimiento corporal, seleccionar la tecnología que mejor se adapte para la implementación del sistema, desarrollar el prototipo y realizar las pruebas correspondientes.

1.6.3 Justificación Aplicativa

El presente trabajo de titulación propone desarrollar un prototipo para la detección seguimiento corporal, para lo cual se plantea investigar conceptos teóricos y principios fundamentales de la visión artificial, aplicada al análisis de marcha. Mediante la detección de puntos de interés (codos, caderas, rodillas, tobillos) en una persona y establecer un sistema de seguimiento corporal que permita determinar el ciclo de marcha.

La implementación del sistema de análisis de marcha se realizó con el lenguaje de programación Python debido a su versatilidad, así como librerías tales como: OpenCV, Numpy, Pandas, Matplotlib. Con ayuda del marco de desarrollo MediaPipe desarrollado por Google.

En desarrollo del proyecto se hará uso un ordenador con procesador Intel i7 con GPU NVIDIA GTX 1660 ti, dos smartphones y el software iVcam para la interconexión inalámbrica de las cámaras de los smartphones como cámaras webcam. Para la ejecución de este proyecto se muestra en la ilustración 1-1 el funcionamiento del sistema; primero se tiene la fase de adquisición de imágenes, se procesará la imagen con ayuda de software y algoritmos de detección de postura. Por último, se busca evaluar los resultados obtenidos con la visión artificial con el fin de realizar el análisis de marcha.

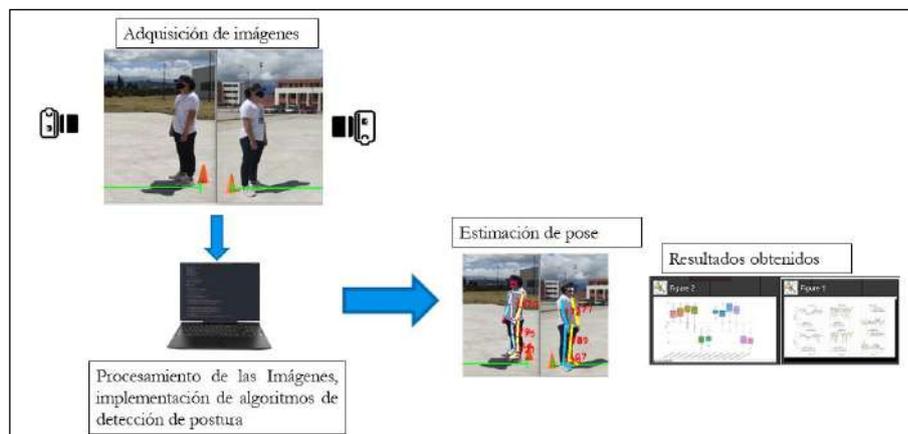


Ilustración 1-1: Funcionamiento del sistema

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes de la investigación

Zago et al (2020) en Italia presentaron su estudio: “*3D Tracking of Human Motion Using Visual Skeletonization and Stereoscopic Vision*”, en el que se desarrolló un sistema sin marcadores para rastrear la cinemática y el análisis de marcha; utilizando cámaras de bajo costo y la librería OpenPose desarrollada en Python. Se realizó la investigación experimentalmente aplicada a una muestra de 2 personas, en la que se ubicó cada cámara a 1 m y a 1,8 m de separación entre ellas, determinando que la mejor configuración es a 1,8 m a una resolución FullHD y sin oclusiones. Los hallazgos de este trabajo conforman la viabilidad de rastrear la cinemática y el análisis de marcha de un solo sujeto en un espacio 3D.

En Ecuador en la Universidad Politécnica Salesiana por parte de Aguilar L. (2020) presenta su tesis: “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”. Se introdujo un algoritmo para deducir la postura de las personas (especialmente niños con dificultades de movimiento), utilizando una red neuronal con técnicas de visión artificial utilizando el algoritmo de cámara integrado en el dispositivo. Concluye que el modelo de estimación de postura de *PoseNet*, tiene una gran precisión en sus estimaciones. Además de no verse afectado por factores como distancia, iluminación, entorno en el que se encuentra etc. Bastando únicamente que los puntos clave de la persona sean visibles en la imagen, para detectar las coordenadas en las que se encuentran dichos puntos y obtener una estimación de una postura específica.

2.2 Referencias Teóricas

2.2.1 *Seguimiento corporal*

El seguimiento corporal o estimación de pose humana realiza la captura de una imagen o secuencia de imágenes para análisis de articulaciones, esqueletización corporal y movimiento

del cuerpo haciendo uso de métodos de visión artificial (Doménech, 2018). La estimación corporal se utiliza para determinar acciones que realiza una persona, de esa forma se esquelética el cuerpo humano, teniendo múltiples aplicaciones en ámbitos tecnológicos, médicos, entretenimiento, etc. En la ilustración 2-1 se muestran ejemplos de la estimación de pose utilizando el MediaPipe.



Ilustración 1-2: Ejemplos de estimación de pose con MediaPipe
Fuente: MediaPipe, 2020

2.2.2 Tecnologías para Seguimiento Corporal

Los movimientos y los gestos son medios esenciales de comunicación que se pueden utilizar para interactuar con las computadoras de una manera más natural y expresiva que los dispositivos actuales centrados en la computadora. (Caillette, et al. 2008). El seguimiento corporal humano tiene una amplia y prometedora gama de aplicaciones que las interfaces informáticas usan como puente para interactuar con las máquinas, estas interacciones pueden ser utilizadas en videojuegos de realidad virtual, aplicaciones en cine de ciencia ficción, para el control de avatares en entornos virtuales como metaversos, etc.

En la Ilustración 2-2 muestra las aplicaciones de la captura de movimiento tales como: animación digital, centro de interfaces (en videojuegos, pantallas simuladoras), rehabilitación, diseño ergonómico y rendimiento deportivo

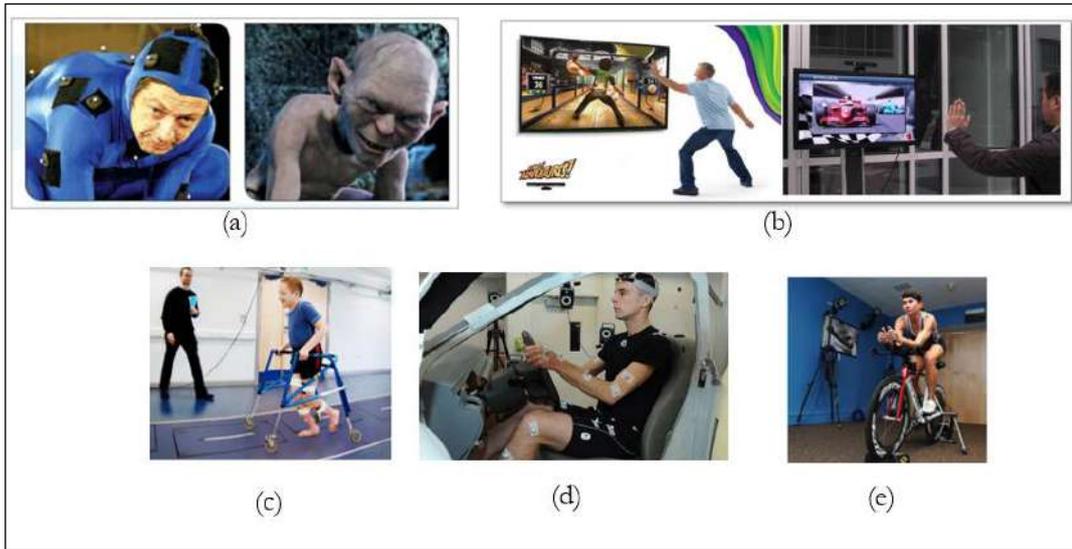


Ilustración 2-2: Aplicaciones de la captura de movimiento: (a) animación digital, (b) centro de interfaces (en videojuegos, pantallas simuladoras), (c) rehabilitación, (d) diseño ergonómico y (e) rendimiento deportivo

Fuente: Unzueta, 2015

Para estudiar las distintas formas de realizar esta detección del seguimiento corporal se plantea en la ilustración 2-3 los sistemas que, según su tecnología, se clasifican en: electromecánicos, electromagnéticos, inerciales y ópticos. En el sistema óptico se separa en sistemas con marcadores y sin marcadores.

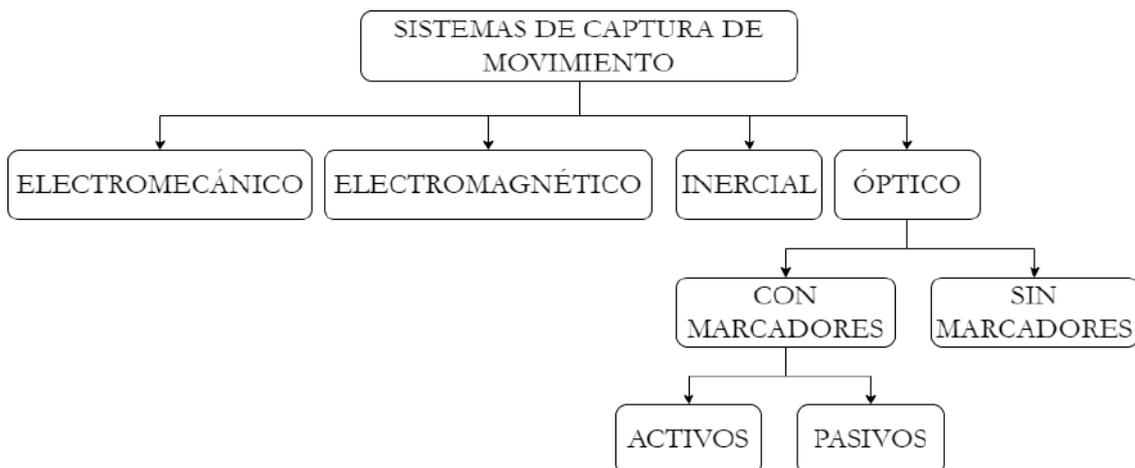


Ilustración 3-2: Clasificación de sistemas de captura de movimiento.

Fuente: Bravo M. et al., 2016

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

2.2.2.1 Electromecánico

Un sistema mecánico o electromecánico son sistemas de captura de movimiento electromecánico que utilizan un exoesqueleto, que rastrea el cuerpo a través de sensores

mecánicos y eléctricos. Durante la captura de movimiento, la persona usa ropa especial que se adapta al cuerpo humano (Bravo M. et al. 2016). En la ilustración 4-2 se observa el sistema de seguimiento corporal basado en sistemas electromecánicos.



Ilustración 4-2: Sistema de seguimiento corporal Electromecánico.

Fuente: Unzueta, 2015, p. 6

2.2.2.2 Electromagnéticos

Los sistemas basados en sensores electromagnéticos miden la relación espacial de la distancia a un transmisor cercano. Los sensores se colocan en el cuerpo de una persona y conectados a un centro de control. La unidad electrónica de control genera un campo electromagnético de baja frecuencia que es detectado por los sensores receptores y reenvían una respuesta de su ubicación al transmisor. (Bravo M. et al. 2016). En la ilustración 5-2 se observa el sistema de seguimiento corporal basado en sistemas electromagnéticos.



Ilustración 5-2: Sistema de seguimiento corporal Electromagnético.

Fuente: Unzueta, 2015, p. 6

2.2.2.3 Inerciales

Los sensores inerciales se conforman de acelerómetros triaxiales y giroscopios de 3 ejes, y son colocados en diferentes zonas del cuerpo para obtener sus coordenadas espaciales. Una ventaja

es que se obtienen datos precisos para medir velocidad y dirección. Sin embargo, los desplazamientos globales no es posible medir lo que genera como inconveniente que estos sensores sean muy sensibles a los cambios en campos magnéticos cercanos (Bravo M. et al. 2016). En la ilustración 6-2 se observa el sistema de seguimiento corporal basado en sistema inercial con sus sensores.



Ilustración 6-2: Sistema de seguimiento corporal Inercial.
Fuente: Unzueta, 2015, p. 6

2.2.2.4 *Sistemas ópticos con marcadores pasivos y activos*

Para una captura del movimiento humano en tres dimensiones requieren de un entorno de laboratorio y la fijación de marcadores, accesorios o sensores a los puntos clave del cuerpo. Sin embargo, debido a elevados costo de equipos este un factor limitante en diversos entornos de trabajo. Los accesorios para la captura y análisis del movimiento en 3D más utilizados son los marcadores pasivos y los marcadores activos (Conde, Mikel and Astarbe 2019, p. 7).

2.2.2.4.1 *Marcadores pasivos*

Marcadores que utilizan reflectantes, es decir objetos de material reflectantes normalmente esféricas que se adhieren a persona, animal u objeto para su análisis. Mediante el uso de cámaras y fuentes luminosas estratégicamente colocadas, la luz es reflectada en los marcadores para ser capturada por la cámara y en su posterior procesamiento estimar las coordenadas XYZ (Conde, Mikel and Astarbe 2019, p. 7). En la ilustración 7-2 se observa los marcadores pasivos con el uso de esferas reflectantes usados en el seguimiento corporal óptico.

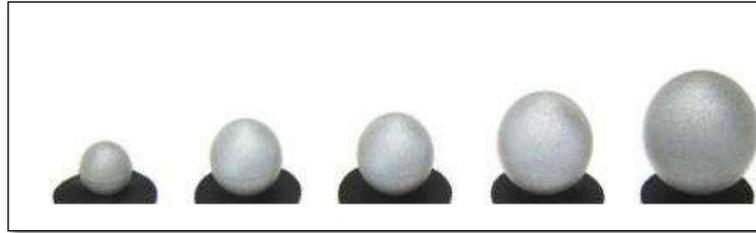


Ilustración 7-2: Marcadores pasivos con el uso de esferas reflectantes
Fuente: Conde, Mikel and Astarbe 2019, p. 7

En la ilustración 8-2 se puede observar la captura de movimiento mediante esferas reflectantes en sistemas de marcadores pasivos.



Ilustración 8-2: Captura de movimiento mediante sistema de marcadores pasivos
Fuente: Unzueta, 2015, p. 6

2.2.2.4.2 *Marcadores activos*

Los sistemas ópticos, basados en marcadores activos son dispositivos que tienen la misma funcionalidad de los marcadores pasivos; se caracterizan porque estos marcadores tienen su propia fuente de luz para que así las cámaras puedan localizar sus coordenadas espaciales. Estos sistemas triangulan posiciones gracias que se ubican múltiples LED en zonas del cuerpo, realizando su detección mediante software y obteniendo sus posiciones relativas de manera muy rápida, similar a la navegación celestial (Crespo 2012, p. 8). Los sistemas activos, producen su propia fuente de luz mediante leds como se observa en la ilustración 9-2.



Ilustración 9-2: Marcadores activos con su propia fuente de luz

Fuente: Crespo, 2012, p. 8

En la ilustración 10-2 se observa la captura de movimiento mediante sistemas de marcadores activos.



Ilustración 10-2: Captura de movimiento mediante sistema de marcadores activos

Fuente: Bravo M. et al., 2016

2.2.2.5 *Sistemas sin marcadores*

Para la captura de movimiento sin marcadores, las cámaras utilizan la estimación de poses con aprendizaje profundo para rastrear el movimiento del esqueleto humano sin usar marcadores ópticos tradicionales. Esto es esencial en la captura deportiva, donde los jugadores no pueden ser cargados con atuendos o dispositivos adicionales de captura de rendimiento (Vidushi 2022b). En la ilustración 11-2 se observa los tipos de sistema sin marcadores tales como: sistemas multicámara, sistemas con uso de cámara de profundidad, sistemas sobre video pregrabado.

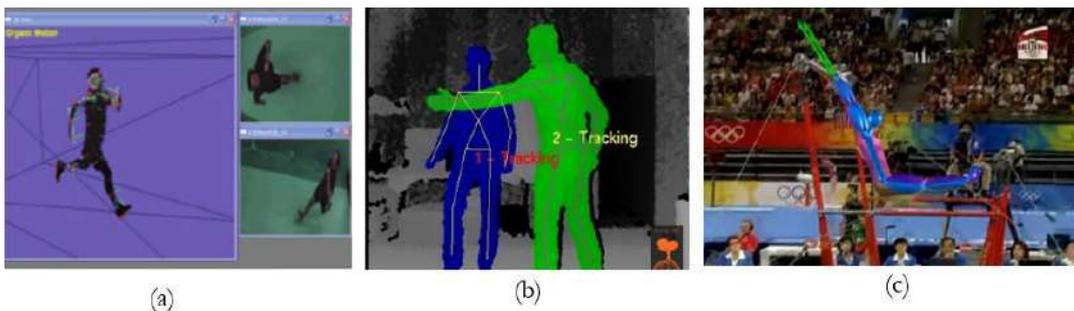


Ilustración 11-2: Sistemas sin marcadores: (a) Multicámara, (b) Cámara de profundidad, (c) Sobre video pregrabado

Fuente: Unzueta, 2015

En la siguiente tabla 1-2 se presenta una comparativa de ventajas y desventajas entre sistemas basados en marcadores y sin marcadores.

Tabla 1-2: Ventajas y Desventajas de Sistemas de seguimiento corporal con y sin marcadores

	Ventajas	Desventajas
Sistemas Basados en Marcadores	Realizan reconstrucción completa Mayor precisión	Invasivos Instalación y uso complejo Mayor coste Oclusiones
Sistemas sin Marcadores	No-invasivos Instalación y uso más simple Menor coste	Reconstrucción menos completa Menor precisión Oclusiones

Fuente: Unzueta, 2015

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

2.2.3 *Visión artificial*

La visión por computadora es una disciplina enfocada en que un sistema automático entienda su entorno por medio de la captura de imágenes; busca simular la visión que tenemos los humanos y enseñar a las máquinas a interpretar estímulos visuales, obtenidos por la combinación de cámaras (Barranco G., et al. 2018, p. 3)

Con lo que se puede lograr una clasificación de imágenes, detección de objetos, transferencia de estilos, GANs (“*Generative Adversarial Networks Specialization*” crear nuevas imágenes basada en patrones ya existentes), reconocimiento facial, etc.; para ello se utiliza aprendizaje profundo para formar redes neuronales que permitan a los sistemas procesar y analizar las imágenes.

2.2.4 *Biomecánica*

La biomecánica es un campo del conocimiento que se centra en el movimiento, el equilibrio, la física, la resistencia y los mecanismos de lesiones que se pueden producirse en el cuerpo humano como consecuencia de acciones físicas. Teniendo aplicaciones en otras ciencias como la mecánica y la ingeniería para que, con los conocimientos de anatomía y fisiología del cuerpo humano, poder observar, estudiar y describir el movimiento humano con conocimientos de

anatomía y fisiología. Asimismo, la fisioterapia mejora cada día sus sistemas de diagnóstico y evaluación para obtener datos objetivos de pacientes, sus enfermedades y resultados de sus tratamientos (Fisioactiva Fisioterapia 2017).

2.2.5 *Análisis de marcha*

Al caminar utilizamos una secuencia repetitiva de movimiento de las extremidades, el análisis de marcha es el área de conocimiento que estudia la locomoción humana, con el fin de cuantificar y analizar como camina una persona (Stöckel et al. 2015b).

El análisis de la marcha humana ha demostrado ser muy útil para una amplia gama de aplicaciones, como el diagnóstico y selección de tratamientos en pacientes con patologías neuromusculares y esqueléticas. Los métodos y técnicas disponibles para este análisis son numerosos, y es posible obtener de forma objetiva parámetros cuantitativos característicos del patrón de marcha (Villa, Gutiérrez and Pérez 2008).

2.2.5.1 *Ciclo de marcha*

El ciclo de marcha se describe como la medición desde cualquier evento de la marcha hasta el mismo evento posterior con el mismo pie, el modelo de la marcha tradicional considera que el ciclo de marcha comienza cuando el pie está en contacto con el suelo y termina con el siguiente contacto del mismo pie con el suelo (Stöckel et al. 2015b).

En la siguiente ilustración 12-2 se describe las dos fases del ciclo de marcha, la fase de postura que consiste en el análisis en el que el pie este todo el tiempo en el suelo, y la fase de balanceo en la que el pie se encuentra en el aire.

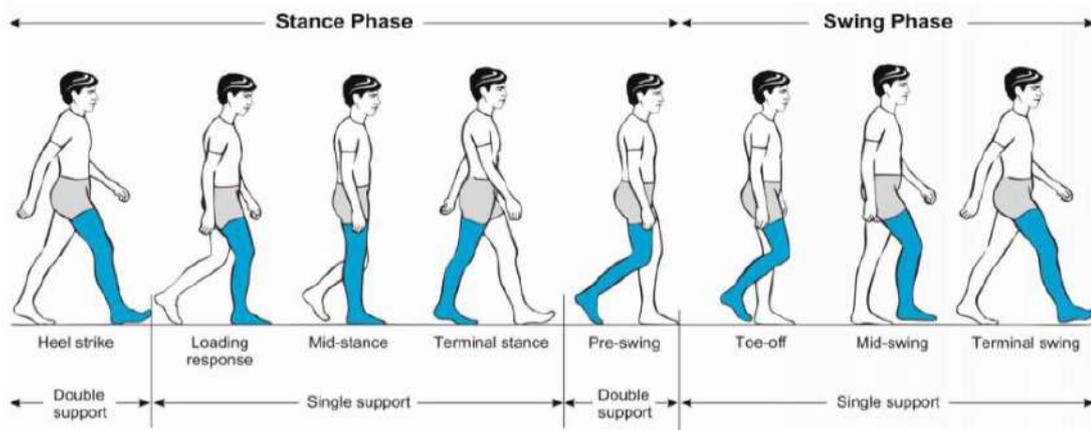


Ilustración 12-2: Fases del ciclo normal de marcha

Fuente: Pirker and Katzenschlager, 2017

El enfoque más preciso se basa en la interpretación funcional de los eventos e identifica ocho fases que capturan tres tareas relacionadas con caminar como se observa en la ilustración 13-2.

2.2.5.1.1 Aceptación del peso (0-12%)

La aceptación del peso son estabilizar la extremidad, absorber el choque y preservar la progresión del cuerpo. Esta fase se puede dividir aún más en contacto inicial y respuesta de carga. El contacto inicial consiste en el primer 3% del ciclo de la marcha (Stöckel et al. 2015).

2.2.5.1.2 Soporte de una sola extremidad (12-50%)

El soporte de una sola extremidad implica la progresión del cuerpo sobre el pie y la estabilidad de soporte de peso. La primera subfase del soporte de una sola extremidad es la media, que se observa durante el 12-31% del ciclo de la marcha (Stöckel et al. 2015).

2.2.5.1.3 Fase de swing (50-100%)

- El *pre-swing* tiene lugar durante el 50-62% del ciclo de la marcha. El pre-swing es la fase de transición entre la postura y el swing, en la que el pie es empujado y levantado del suelo.
- El swing inicial (*Initial swing*) va del 62 al 75% del ciclo de marcha. Durante el balanceo inicial, la cadera, la rodilla y el tobillo se flexionan para iniciar el avance de la extremidad hacia adelante y crear espacio para el pie sobre el suelo.
- El balanceo medio (*Mid-swing*) va del 75 al 87% del ciclo de marcha. Durante el swing medio, el avance de las extremidades continúa y el muslo alcanza su avance máximo.
- El balanceo terminal (*Terminal swing*) es la fase final del ciclo de la marcha que va del 87 al 100% del ciclo. Durante el balanceo terminal, tiene lugar el avance final del vástago y el pie

se posiciona para el contacto inicial del pie para iniciar el siguiente ciclo de marcha (Stöckel et al. 2015).

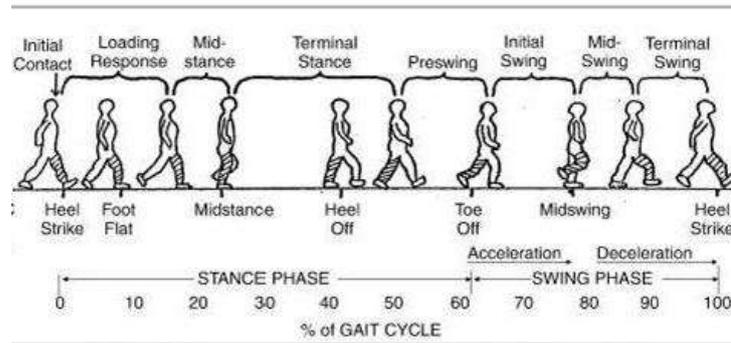


Ilustración 13-2: Fases del ciclo normal de marcha en relación con el porcentaje del ciclo de marcha

Fuente: Medical Massage Therapy, 2014

En la ilustración 14-2 se observa los valores normales que debe tener una persona en referencia a la flexión y extensión de cadera, rodilla y tobillos.

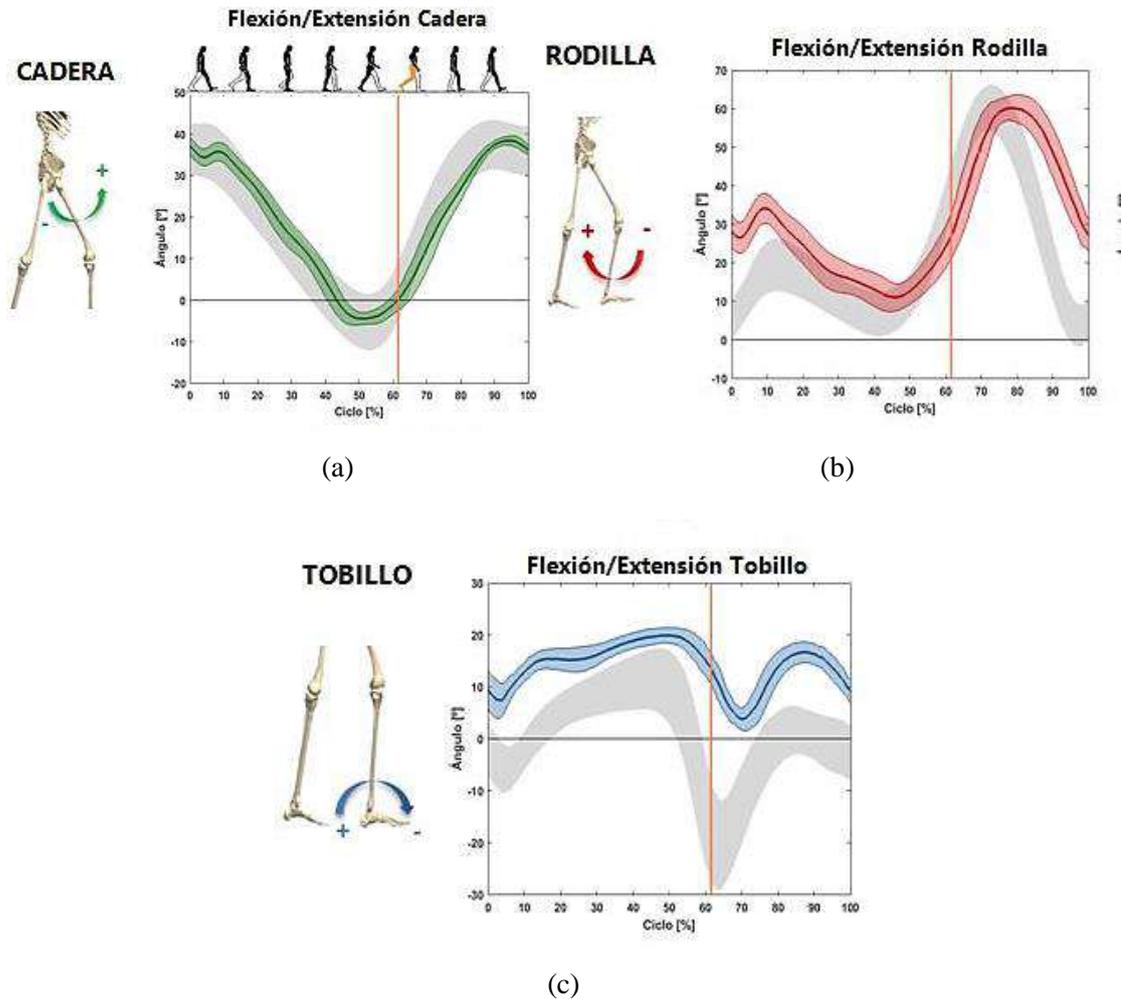


Ilustración 14-2: Patrón normal del ciclo de marcha: (a) Ciclo de marcha para cadera, (b) ciclo de marcha para rodilla, (c) ciclo de marcha para tobillo

Fuente: Sánchez and Barrios, 2016

2.2.6 Software de desarrollo

2.2.6.1 iVCam

iVCam convierte teléfono o Tablet en una cámara web HD para PC con Windows, que tiene una calidad mucho mejor que la mayoría de las cámaras web y es compatible con todas las aplicaciones habilitadas para cámara web. Reemplaza la cámara web USB o cámara web integrada con el teléfono celular. También puede ser usado como monitor de bebé, una cámara espía, una cámara de seguridad y una cámara para mascotas (E2ESOFT 2016). En la ilustración 15-2 se puede observar la conexión remota entre teléfono y computador mediante iVCam.



Ilustración 15-2: Conexión remota entre teléfono y computador mediante iVCam

Fuente: E2ESOFT, 2016

2.2.6.2 *Anaconda*

Anaconda o Conda es un sistema de gestión de paquetes de código abierto y un sistema de gestión de entornos virtuales que integran paquetes y dependencias que se ejecuta en Linux, Windows, macOS. Con conda se puede instalar, ejecuta y actualiza rápidamente los paquetes y sus dependencias. Adicionalmente, conda cuenta con funcionalidades para crear, guardar, cargar, hacer copias de seguridad, exportar entornos y cambia fácilmente entre entornos en su máquina local. Fue creado para programas Python, no obstante, conda puede empaquetar y distribuir software para cualquier lenguaje como: R, Ruby, Lua, Scala, Java, JavaScript, C/C++, Fortran y más (Conda io 2022).

Con pocos comandos, puede configurar un entorno totalmente aislado en el que se ejecuta una versión diferente de Python a la instalada en el entorno normal junto con sus librerías y paquetes, pudiendo tener varios entornos de desarrollo separados entre sí (Conda io 2022).

2.2.6.3 *Python*

Python es un lenguaje de programación creado por Guido van Rossum en los años 90. Es un lenguaje con una sintaxis muy clara que favorece el código legible. Python es un lenguaje interpretado o de script, con tipado dinámico, multiplataforma, y multiparadigma (Duque 2011).

2.2.6.4 *Numpy*

NumPy es un proyecto de código abierto que tiene como objetivo permitir la computación de datos numéricos con Python. Creado en 2005, basándose en el trabajo temprano de las bibliotecas *Numeric* y *Numarray*. NumPy siempre será un software de código abierto, gratuito

para que todos lo usen y lanzado bajo los términos liberales de la licencia BSD modificada (Numpy 2005). NumPy es una librería fundamental para la computación científica en Python, se basa en la manipulación de datos mediante la utilización de vectores y matrices; debido a la forma como se almacenan los datos en NumPy esto lo hace más rápido y eficiente que el uso de listas en Python. En la ilustración 16-2 se observa la creación de arreglos en NumPy.



Ilustración 16-2: Comando NumPy para generar un arreglo y representación del NumPy Array

Fuente: NumPy, 2022

2.2.6.5 Pandas

En 2008, el desarrollo de pandas comenzó en AQR Capital Management. A finales de 2009 su desarrollo paso a ser de código abierto, y hoy cuenta con el apoyo activo de una comunidad de personas de ideas afines en todo el mundo que contribuyen a hacer posibles pandas de código abierto (pandas org, 2008).

La librería Pandas es usada para el análisis de datos en Python, utilizada con Numpy los datos son guardados en objetos de tipo *DataFrame* rápido y eficiente para la manipulación de datos con índice integrado. Para el uso en lectura y manipulación de datos guardados en formatos: archivos CSV y de texto, Microsoft Excel, bases de datos SQL, el formato hdf5 rápido. En la Ilustración 17-2 se observa la representación de tablas en un *DataFrame* de pandas.

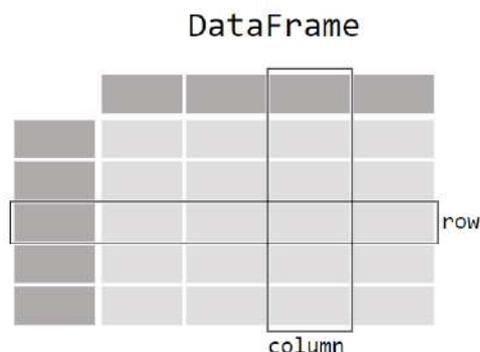


Ilustración 17-2: Representación de tablas de Pandas

Fuente: pandas org, 2008

2.2.6.6 Matplotlib

Matplotlib es usado para la gráfica de datos que junto con NumPy y Pandas permite la visualización estadística, animadas e interactivas en Python (matplotlib.org 2021). Matplotlib proporciona diversos tipos de graficas como se puede observar en la ilustración 18-2.

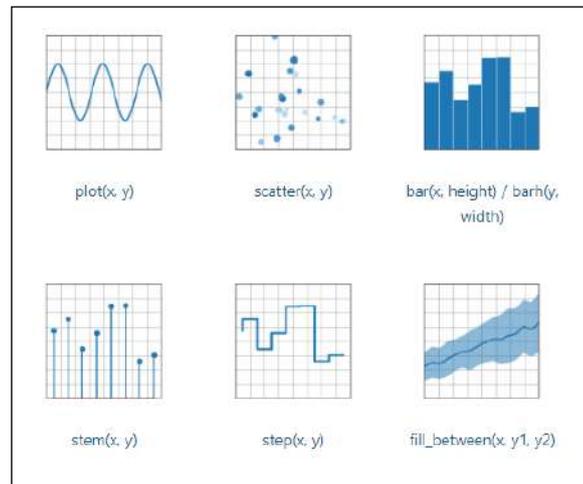


Ilustración 18-2: Tipos de gráficas, generalmente y versus x.
Fuente: matplotlib.org, 2012

Matplotlib también proporciona representaciones de gráficos estadísticos como se muestra en la ilustración 19-2.

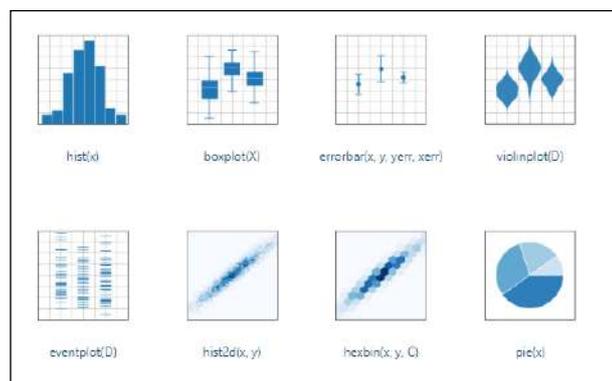


Ilustración 19-2: Gráficos estadísticos.
Fuente: matplotlib.org, 2012

2.2.6.7 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es un software de código abierto para la visión artificial y aprendizaje automático. Desarrollado para proporcionar una infraestructura

común de aplicaciones de visión por computadora y acelerar el uso de la percepción de la máquina en productos comerciales. Al ser un producto con licencia BSD, OpenCV facilita a las empresas usar y modificar el código fácilmente (OpenCV org 2020).

La biblioteca cuenta con más de 2500 algoritmos optimizados, que incluyen un conjunto completo de algoritmos de visión por ordenador, aprendizaje automático clásicos y de última generación (OpenCV org 2020).

2.2.6.8 Seaborn

Seaborn es una biblioteca para hacer gráficos estadísticos en Python. Está basado en matplotlib y puede ser integrado estrechamente con las estructuras de datos de pandas, para explorar y comprender sus datos mediante graficas. Sus funciones de trazado operan en *DataFrame* y matrices que contienen conjuntos de datos completos e internamente realizan el mapeo semántico y la agregación estadística necesarios para producir gráficos informativos.

La integración de Seaborn con matplotlib le permite usarlo en los muchos entornos que admite matplotlib, incluido el análisis exploratorio en cuadernos, la interacción en tiempo real en aplicaciones GUI y la salida de archivos en varios formatos ráster y vectoriales (Seaborn 2012).

2.2.6.9 Scikit-learn

Scikit-learn es una biblioteca unificada de código abierto, que integra algoritmos y funciones clave como la regresión línea, la regresión polinomial, etc. Facilitando en gran medida todas las etapas de preprocesado, aprendizaje, optimización y validación de modelos predictivos (Amat 2020).

2.2.6.9.1 Regresión polinómica

La Regresión Polinomial es un caso especial de regresión lineal. Extiende el modelo lineal, basado en predecir el comportamiento de un fenómeno mediante una función lineal; se añade predictores adicionales, obtenidos al elevar cada uno de los predictores originales a una potencia similar a lo que se muestra en la ecuación 1-2. La forma estándar de extender la regresión lineal a una relación no lineal entre las variables dependientes e independientes es reemplazar el modelo lineal con una función polinomial (González 2019). La regresión cuadrada utiliza dos variables como predictores, la cúbica utiliza tres variables como predictores, así sucesivamente

según el grado del polinomio que se desee. Este enfoque proporciona una forma sencilla de proporcionar un ajuste no lineal a los datos.

$$y = a_1x_1 + a_2x_1^2 + b$$

Ecuación 1-2: Regresión polinomial con 2 variables: X_1 y X_2

2.2.6.10 Tkinter

La biblioteca tkinter es una capa orientada a objetos, siendo una parte integral de Python. Proporciona un potente conjunto de herramientas independiente de la plataforma para la gestión de ventanas; incluyendo un conjunto de envoltorios que implementan los widgets Tk como clases de Python. Las principales ventajas de Tkinter son que es rápido, de fácil uso y normalmente viene incluido al instalar Python (Python org 2022).

2.2.6.11 MediaPipe

MediaPipe es un marco de desarrollo para crear canalizaciones de aprendizaje automático que permitan procesar datos de series temporales como video, audio, etc. Este marco multiplataforma funciona en escritorio/servidor, Android, iOS y dispositivos integrados como Raspberry Pi y Jetson Nano (Kukil 2022). En la Ilustración 20-2 se observa la Descripción general de la canalización holística de MediaPipe mediante la detección de pose, detección de manos y detección facial.

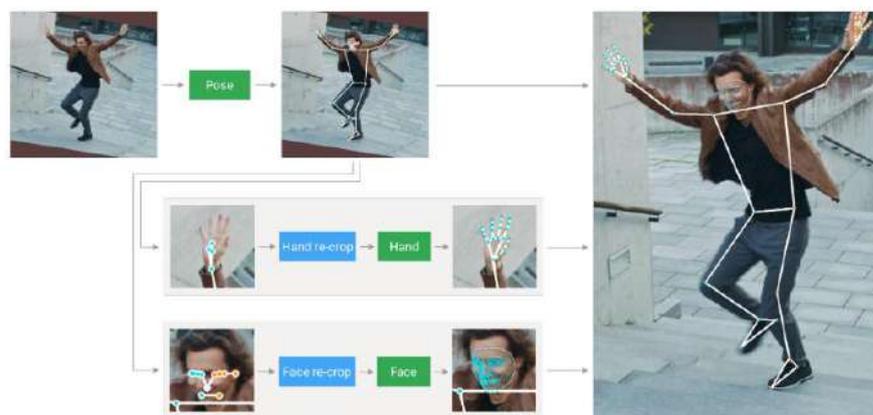


Ilustración 20-2: Descripción general de la canalización holística de MediaPipe.
Fuente: Google, 2017a

Media pipe es capaz de detectar puntos clave de la persona, según el modelo que se use:

- Modelo *poselandmark*: detecta parte de una persona que se desea estimar como la nariz, ojos, orejas, articulaciones etc. y contiene una posición y un puntaje de confianza. Mediapipe detecta 33 puntos clave.
- Modelo *Handlandmark*: detecta 21 puntos clave de las articulaciones de las manos
- Modelo *Face Mesh*: detecta 468 puntos clave del rostro

2.2.6.11.1 Soluciones de MediaPipe

Las soluciones son ejemplos prediseñados de código abierto basados en un modelo específico de TensorFlow o TFLite previamente entrenado. Las soluciones de MediaPipe se basan en el marco que actualmente, proporciona dieciséis soluciones que se muestran en la ilustración 21-2 (Kukil 2022).

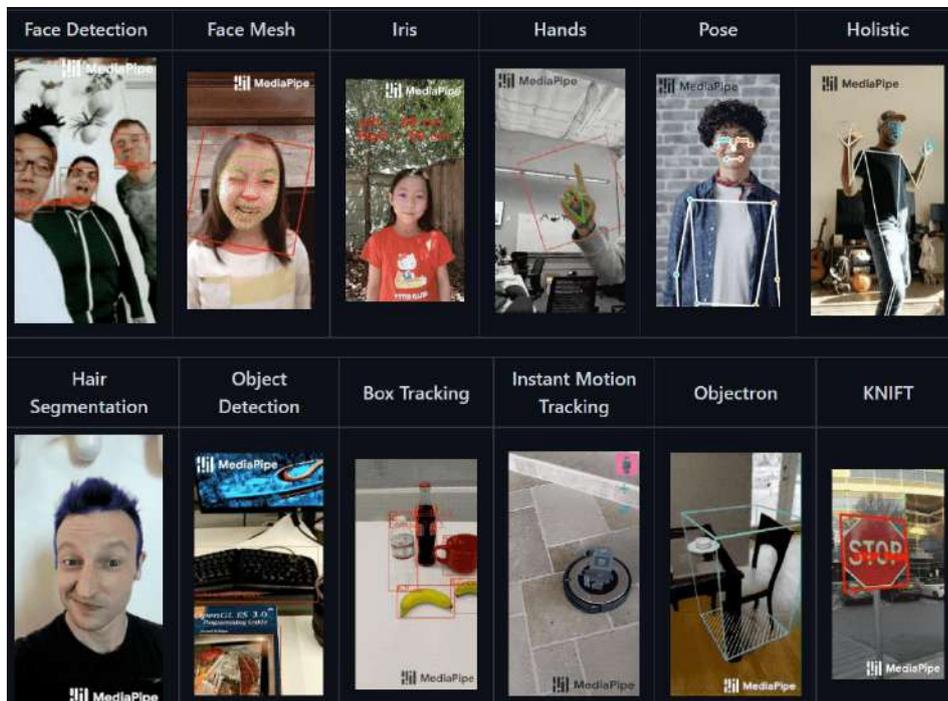


Ilustración 21-2 Soluciones de ML MediaPipe
Fuente: Google, 2022a

En la Tabla 2-2 se describe las soluciones de MediaPipe de ML personalizables y multiplataforma de código abierto para diferentes lenguajes de programación.

Tabla 2-2: Soluciones de MediaPipe de ML personalizables y multiplataforma de código abierto para diferentes lenguajes de programación

Soluciones MediaPipe	Android	iOS	C++	Python	JS	Coral
Face Detection	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Face Mesh	✓	✓	✓	✓	✓	
Iris	✓	✓	✓			
Hands	✓	✓	✓	✓	✓	
Pose	✓	✓	✓	✓	✓	
Holistic	✓	✓	✓	✓	✓	
Selfie Segmentation	✓	✓	✓	✓	✓	
Hair Segmentation	✓		✓			
Object Detection	✓	✓	✓			✓
Box Tracking	✓	✓	✓			
Instant Motion Tracking	✓					
Objectron	✓		✓	✓	✓	
KNIFT	✓					
AutoFlip			✓			
MediaSequence			✓			
YouTube 8M			✓			

Fuente: MediaPipe, 2022

2.3 Funcionamiento de MediaPipe

2.3.1 Redes neuronales

Las redes neuronales artificiales, son inspiraciones de las redes neuronales biológicas. En las redes neuronales biológicas tenemos impulsos electromagnéticos que llegan a nivel de información como entrada por las dendritas de la neurona, son transformados y procesados por una reacción química y son entregados a las siguientes neuronas para que tenga una información más pura, de la misma manera funcionan las redes neuronales artificiales. El perceptrón es capaz de tomar información, procesarla y entregarla a las siguientes neuronas para que sea cada vez más limpia, más pura y profunda utilizan cálculos matemáticos o procesamiento de señales (Nagyfi 2018). En la Ilustración 22-2 se observa una comparación de una Neurona Biológica con un Perceptrón, en la que, teniendo múltiples entradas o estímulos, se procesan dentro de la neurona y provocan una activación.

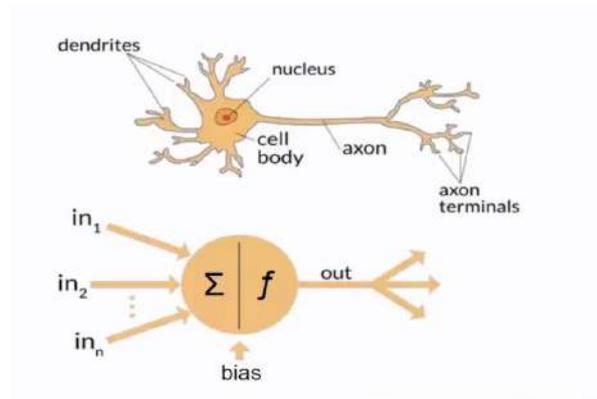


Ilustración 22-2: Diagrama de una Neurona Biológica comparada con un Perceptrón

Fuente: Nagyfi, 2018

2.3.2 Red neuronal convolucional (CNN)

Una red neuronal convolucional es un tipo de red neuronal artificial que intenta simular el comportamiento de las neuronas biológicas, donde, mediante capas convolucionales se filtra las entradas en busca de información útil. La operación de convolución implica combinar los datos de entrada (mapa de objetos) con un núcleo de convolución (filtro) para formar un mapa de características. Los filtros en las capas convolucionales se modifican en función de los parámetros aprendidos para extraer la información más útil para una tarea en particular. La red convolucional se ajusta automáticamente para encontrar la mejor característica dependiendo de la tarea asignada (NVIDIA 2018). En la ilustración 23-2 se puede observar un ejemplo de una red neuronal convolucional, en el que mediante filtros se puede obtener las características de la imagen.

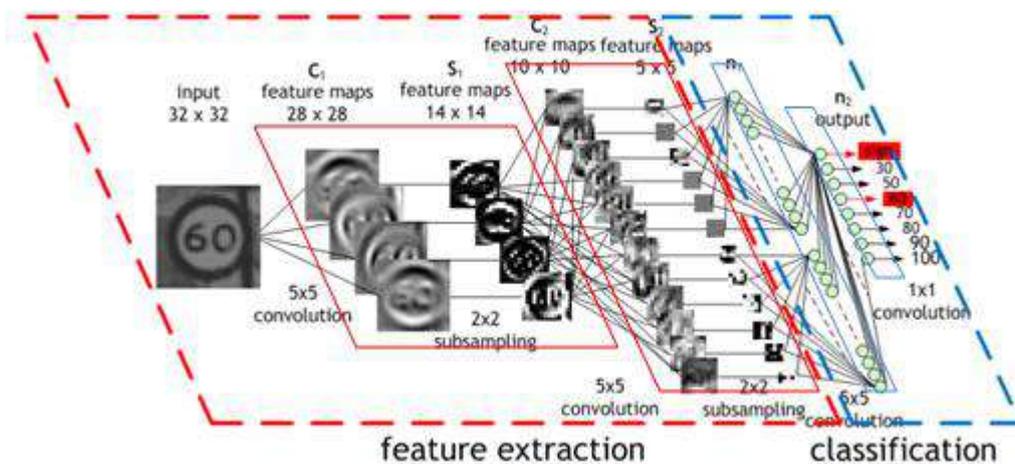


Ilustración 23-2: Ejemplo de red neuronal convolucional para extracción y clasificación de imágenes

Fuente: NVIDIA, 2018

La CNN filtra información sobre la forma de un objeto cuando se enfrentara a una tarea general de reconocimiento de objetos, analizan la imagen desde los bordes, las texturas sus formas. En la ilustración 24-3 se observa que a medida que se aplican filtros, la imagen reduce su tamaño extendiéndose horizontalmente en las capas de características.

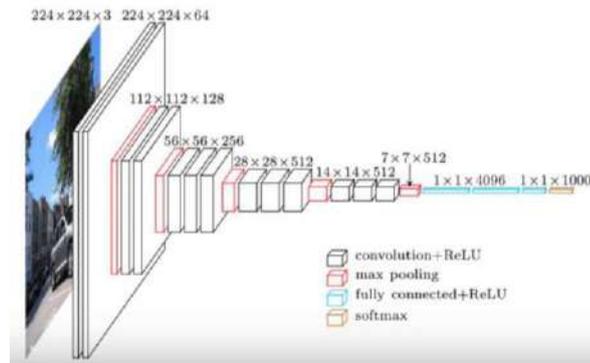


Ilustración 24-2: Red Neuronal Convolutiva

Fuente: Aguilar, 2020, p. 4

2.3.3 Modelos de detección de persona / pose (detector BlazePose)

El detector de personas está inspirado en otro modelo propietario ligero *BlazeFace*, utilizado en MediaPipe Face Detection, como proxy para un detector de personas. Predice explícitamente dos puntos clave virtuales adicionales que describen firmemente el centro del cuerpo humano, la rotación y la escala como un círculo (Google 2017b). En la ilustración 25-2 se muestra que pruebas de funcionamiento sobre la imagen del hombre de Vitruvio de Leonardo. Se realiza una predicción del punto medio de las caderas de una persona, formando un área que circunscribe a toda la persona y al ángulo de inclinación de la línea que conecta los puntos medios del hombro y la cadera.

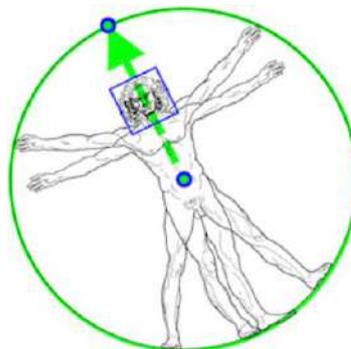


Ilustración 25-2: Hombre de Vitruvio alineado a través de dos puntos clave.

Fuente: Google, 2017b

2.3.4 *BlazePose*

BlazePose, es una arquitectura de red neuronal convolucional liviana para la estimación de la pose humana que está diseñada para la inferencia en tiempo real en dispositivos móviles. La red predice 33 puntos clave del cuerpo de una sola persona y se ejecuta a 30 fotogramas. Esto lo hace particularmente adecuado para casos de uso en tiempo real, como el seguimiento del estado físico y el reconocimiento del lenguaje de señas. Las principales contribuciones del este desarrollo incluyen una solución novedosa de seguimiento de la postura del cuerpo y una red neuronal liviana de estimación de la postura del cuerpo que utiliza mapas de calor y regresión a coordenadas de puntos clave (Bazarevsky et al. 2020, p. 1).

2.3.5 *Modelo Pose Landmark (BlazePose 3D)*

El modelo de punto de referencia en MediaPipe Pose predice la ubicación de 33 puntos de referencia de pose tal como se muestra en la ilustración 26-2.

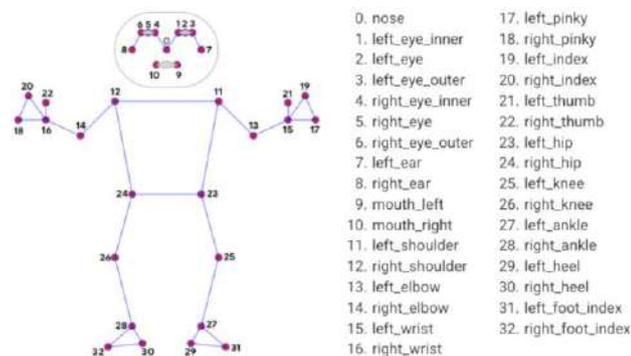


Ilustración 26-2: Puntos de referencia del modelo *Pose Landmark*

Fuente: Google, 2017b

2.3.5.1 *Estimación de la postura humana a través segmentación de la regresión del mapa de calor*

En durante el entrenamiento de la arquitectura de red de seguimiento para regresión con supervisión de mapa de calor del modelo *BlazePose*, como se observa en la ilustración 27-2, primero se emplea segmentación mediante un mapa de calor y se compensa la pérdida al entrenar el centro y la torre izquierda de la red. Luego eliminaron la salida del mapa de calor y se entrena el codificador de regresión (torre derecha), usando efectivamente el mapa de calor para supervisar una incrustación liviana (Bazarevsky et al. 2020).

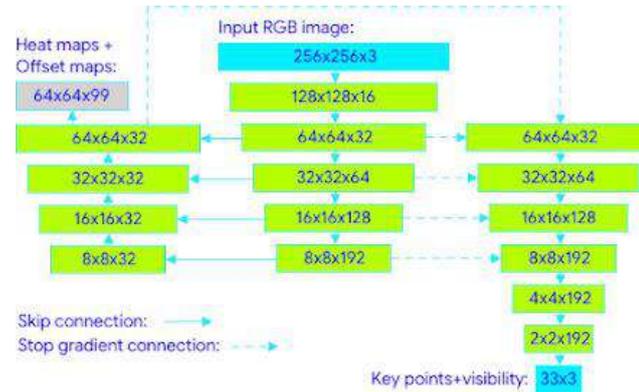


Ilustración 27-2: Arquitectura de red de seguimiento: regresión con supervisión de mapa de calor

Fuente: Bazarevsky et al., 2020

Los algoritmos tienen que lidiar con la gran cantidad de poses humanas factibles, grandes cambios en la apariencia humana (por ejemplo, vestimenta), oclusiones parciales (incluidas las auto oclusiones) y la presencia de varias personas muy cerca unas de otras. Las redes neuronales convolucionales (CNN) presentan características notablemente sólidas para realizar tareas de extraer características de apariencia fuertes de nivel bajo y medio que capturen información contextual relevante y discriminatoria y cómo modelar relaciones de partes complejas que permitan una inferencia de pose efectiva pero eficiente (Bulat and Tzimiropoulos 2016, p. 1).

En la ilustración 28-2 se muestra la red neuronal convolucional que consta de dos subredes profundas conectadas. La primera (parte superior de la figura) es una red de detección de partes entrenada para detectar las partes individuales del cuerpo utilizando una pérdida sigmoidea por píxel. Su salida es un conjunto de mapas de calor de N partes. La segunda es una subred de regresión que retrocede conjuntamente los mapas de calor de los partes apilados junto con la imagen de entrada a mapas de confianza que representan la ubicación de las partes del cuerpo (Bulat and Tzimiropoulos 2016).

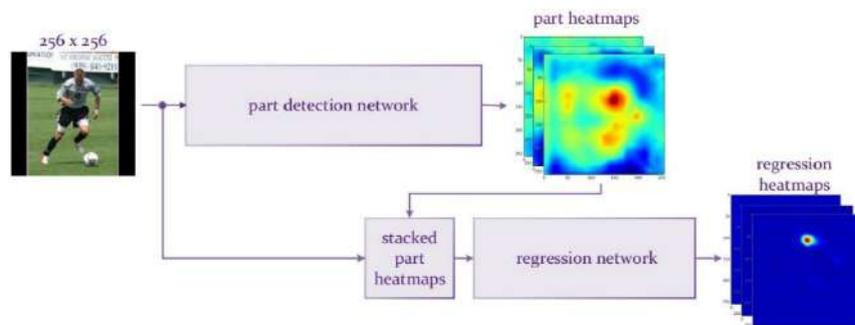


Ilustración 28-2: Estimación de la postura humana a través de la regresión del mapa de calor de la parte convolucional

Fuente: Bulat and Tzimiropoulos 2016, p. 2

En la ilustración 29-2 se muestra procesos de segmentación mediante mapas de calor de detección de piezas producidas para las piezas visibles (cuello, cabeza, rodilla izquierda) y ocluidas (tobillo, muñeca, rodilla derecha) dibujadas con una línea discontinua. La salida de la subred de regresión se observa que la confianza para las partes visibles es mayor y más localizada y claramente la red puede proporcionar una alta confianza para la ubicación correcta de las partes ocluidas (Bulat and Tzimiropoulos 2016, p. 2).

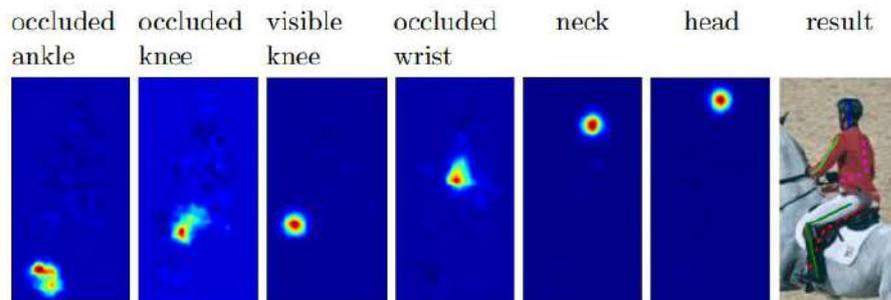


Ilustración 29-2: Mapa de Calor para la detección de postura
Fuente: Bulat and Tzimiropoulos 2016, p. 2

2.3.5.2 Descripción general tubería de ML para el seguimiento de pose

Para realizar la detección en tiempo real de la estimación de pose, se requiere que los fotogramas pasen por una tubería de ML (*Machine Learning*) de detector-rastreador de dos pasos. Primero localiza la región de interés de la pose dentro del fotograma. Posteriormente el rastreador predice los 33 puntos clave de pose. En los casos de video el detector solo se ejecuta una vez, para los fotogramas posteriores deriva en detectar dos puntos clave (Bazarevsky and Grishchenko 2020).

Para lograr la detección en tiempo real, en la ilustración 30-2 se observa el modelo detector – rastreador que se basa en la detección del rostro mediante el módulo *BlazeFace* (el módulo utiliza mapas de calor para su detección). El rostro debe ser visible para la detección, después el rastreador se encargara de la estimación de la pose. Los puntos clave son producidos con tres grados de libertad obteniendo coordenadas espaciales (x , y) y visibilidad.

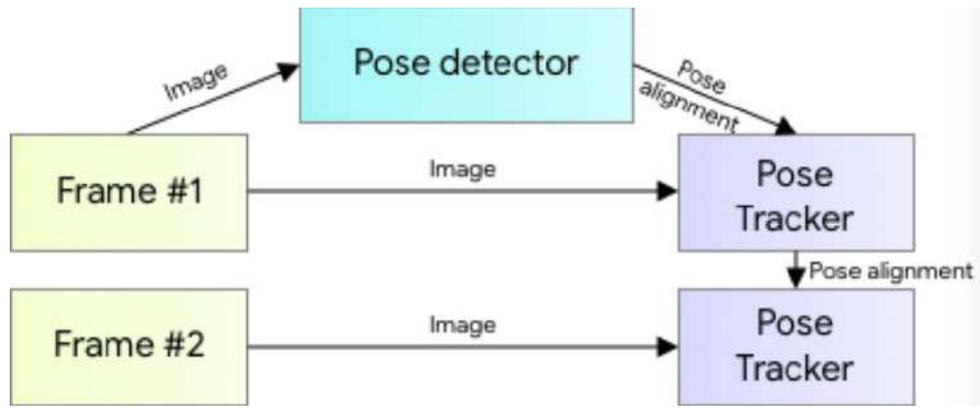


Ilustración 30-2: Descripción general de la tubería de estimación de postura humana
Fuente: Bazarevsky and Grishchenko, 2020

CAPITULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de investigación

La presente investigación tiene un enfoque de investigación Cualitativo, en el que se desarrolló un prototipo de seguimiento corporal, mediante la obtención de los atributos del analisis de marcha y definiciones teóricas permitieron desplegar el sistema prototipo para la recolección, procesamiento y analisis de los resultados.

3.2 Nivel de investigación

El presente trabajo tiene un nivel de investigación exploratoria, debido a que el seguimiento corporal para el análisis de marcha con el uso de visión artificial aún no ha sido suficientemente estudiado.

3.3 Diseño de investigación

Se escogió para el presente proyecto el diseño de cualitativo en el desarrollo del prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial como herramienta de soporte. A su vez, se establece una relación entre los datos recolectados y la observación sobre la base de los cálculos matemáticos indispensables en la realización del proyecto, brindando así la herramienta de soporte para el análisis de marcha.

3.3.1 *Según la manipulación de la variable independiente*

El desarrollo del prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial, se la realizo de forma experimental para obtener resultados que posteriormente se procesó con el fin de realizar el análisis de marcha mediante el uso de graficas de resultados.

3.3.2 *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

El presente trabajo se realizó un estudio transversal, en el cual se planteó un periodo de tiempo corto para realizar el desarrollo del prototipo de seguimiento corporal y utilizarlo para el análisis de marcha. Así entonces, se identificó correlaciones entre los resultados obtenidos enfocados en diferentes periodos de tiempo.

3.4 Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación se establece como tipo de estudio de Campo, enfocada en la recolección directa de datos del prototipo de seguimiento corporal para el análisis de marcha. Con enfoque la investigación aplicada al área científica que busca mediante procesos convertir el conocimiento fundamental y teórico en conocimiento práctico y útil para la sociedad, referentes a conocimientos adquiridos durante la carrera de Telecomunicaciones.

3.5 Población y Planificación

Posterior a la consolidación del prototipo del seguimiento corporal para el análisis de marcha, se aplicó una encuesta cualitativa enfocada en evaluar la aplicabilidad del sistema, esta encuesta fue realizada por los fisioterapeutas pertenecientes a la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay”. La técnica utilizada es la Escala Likert con 5 respuestas posibles, de muy de acuerdo, a muy en desacuerdo, con un tiempo estimado de 4 minutos. Dicha encuesta se encuentra adjunta en el Anexo J.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

El desarrollo del prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial para análisis de marcha compone un proyecto relevante en el campo de visión por computadora y el análisis de marcha. El prototipo tiene como propósito servir como herramienta de soporte para la detección corporal de personas y análisis de movimiento. El prototipo fue desarrollado en Python haciendo uso de varias librerías y empaquetado en un programa ejecutable para computadores con sistema operativo Windows, siendo testeado en cuatro personas entre un niño pequeño, paciente femenino, paciente masculino y paciente adulto masculino. El prototipo está disponible para el uso de estudiantes y docentes para futuras pruebas y estudios.

3.6.1 Características de la población encuestada

La población encuestada estuvo compuesta por 3 fisioterapeutas pertenecientes a la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay”, quienes son los encargados de la valoración fisioterapéutica de los niños de la institución.

3.6.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es Cualitativa, teniendo como objetivo comprender e interpretar los fenómenos. Por lo que se describen escenarios, personas y comunidades de forma natural sin que los investigadores modifique o controlen directamente las variables (Montagud 2020).

3.6.3 Métodos de investigación

En el presente trabajo de titulación se aplicó el método analítico – sistemático y método inductivo – deductivo los que infieren de la siguiente manera:

- Método analítico – sistemático

Se utilizo el método analítico – sistemático para descomponer el problema en partes con el fin de estudiarlo por separado (Luis and Gonzales 2021), estudiando así las tecnologías de seguimiento corporal, seleccionar la que se adecue a las necesidades presentes.

A su vez la síntesis que se agrupan las partes de un fenómeno para obtener un resultado total (Luis, Gonzales 2021, p. 9), los cuales son necesarios para el desarrollo del proyecto

- Método inductivo

Se utilizo este método inductivo; en el que el inductivo se refiere a partir de casos particulares para realizar una conclusión general (Luis, Gonzales 2021, p.8-9), así se establece que para probar el desarrollo del prototipo se recurriendo a tomar una muestra que permite realizar las generalidades respectivas.

3.6.4 Técnicas de Investigación

En el desarrollo del trabajo se utilizó dos técnicas de la investigación cualitativa. Por un lado, la técnica de la investigación bibliográfica enfocada en explorar todo aquello de un determinado tema técnica. También se estableció la investigación por observación que implica observar atentamente la información registrada y analizarla de forma sistemática (Montagud 2020). Así se estableció apoyarse de forma teórica el trabajo con la recolección bibliográfica del seguimiento corporal; u una vez desarrollado el prototipo ponerlo a prueba mediante la observación directa.

3.7 Selección de la tecnología de seguimiento

Para la selección de la tecnología de seguimiento corporal se descartó tecnologías de seguimiento corporal basadas en mecanismos electromecánicos, electromagnéticos e inerciales; debido a que son dispositivos costosos, pesados y que no están alineados en el objetivo de esta investigación. A su vez, como se indica en la tabla 1-2, los dispositivos basados es marcadores son invasivos, instalación y uso complejo con un mayor coste y de difícil acceso para la mayoría de usuario. Por consiguiente, se presenta la siguiente tabla 1-3 que muestra una comparativa de soluciones de *Machine Learning* y librerías que usan visión por ordenador para la estimación de pose sin usar marcadores, junto con sus descripciones.

Tabla 1-3: Tabla comparativa de tecnologías de seguimiento corporal

	MediaPipe	OpenPose	PoseNet
Descripción	Soluciones de ML (Machine Learning) personalizables y multiplataforma para medios en vivo y de transmisión.	Biblioteca de detección de puntos clave de varias personas en tiempo real para la estimación del cuerpo, la cara, las manos y los pies	Estimación de pose humana en tiempo real
Desarrollo	Google	CMU-Perceptual-Computing-Lab	Google - Coral
Framework de desarrollo	Tensorflow	Tensorflow	Tensorflow
Lenguaje de desarrollo	C++ / Python	C++	Python
Licencia	Apache License 2.0	GNU General Public License v3.0	Apache License 2.0

Puntos de referencia del cuerpo	33	15, 18, 27	18
Puntos de referencia Mano	21	21	No dispone
Puntos de referencia faciales	468	70	No dispone
Instalación	Sencilla	Compleja	Sencilla

Fuente: Radzki 2022; Google 2022b; CMU-Perceptual-Computing-Lab 2022; google-coral 2021

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Por tanto, debido a la mayor cantidad de puntos de referencia corporal, instalación sencilla se escogió MediaPipe junto con las herramientas de visión por ordenador para el desarrollo del presente trabajo.

3.8 Diagrama de flujo del prototipo

En la siguiente ilustración 1-3 se observa el diagrama de flujo del prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial para el análisis de marcha. Al iniciar el módulo se despliega una interfaz.

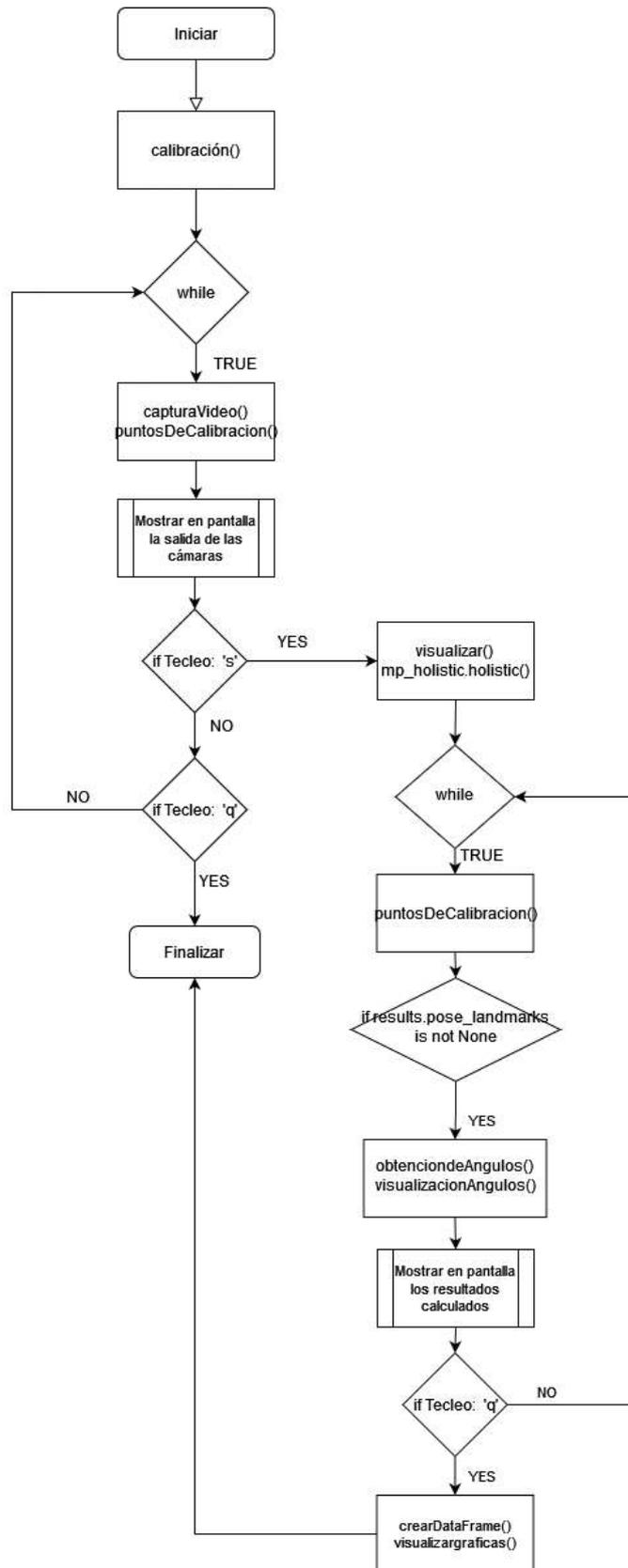


Ilustración 1-3: Diagrama de flujo del prototipo
 Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.9 Equipos y materiales

En el desarrollo del prototipo de seguimiento corporal se utilizó una computadora de la marca Lenovo, modelo Legión Y545 que cumple con la función de procesar las imágenes y ejecutar el programa, también se utilizó dos celulares de la marca Xiaomi, modelo Redmi Note 9s para capturar el video, un router inalámbrico y dos conos de seguridad para delimitar la escena. En esta sección se realiza una explicación de las características de los equipos y materiales.

3.9.1 Computador

Para realizar la recepción de las imágenes capturada por las cámaras y la ejecución del programa se eligió un computador como se muestra en la Ilustración 2-3 con buena capacidad de procesamiento, las características de este computador se muestran en la tabla 2-3.



Ilustración 2-3: Lenovo Legion Y545

Fuente: Kelaptop, 2020

Tabla 2-3: Características del computador Lenovo Legion Y545

Marca	Lenovo
Modelo	Legion Y545
Procesador	Intel(R) Core (TM) i7-9750H
Velocidad Del Procesador	CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz
Tarjeta grafica	Nvidia GTX 1660 Ti
Memoria RAM	16 GB
Almacenamiento	500 GB
Wifi	802.11 a /b/g Wi-Fi 4 (802.11n), Wi-Fi 5 (802.11ac)
Sistema Operativo	Windows 10 Home 64 bits

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.9.2 Teléfono Celular

Para realizar a la adquisición de las imágenes se utilizó dos teléfonos Xiaomi Redmi Note 9s como se muestra en la Ilustración 3-3. Las especificaciones de los dispositivos móviles se muestran en la tabla 3-3.



Ilustración 3-3: Xiaomi Redmi Note 9s
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Tabla 3-3: Características de los dispositivos Xiaomi Redmi Note 9s

Marca	Xiaomi
Modelo	Redmi Note 9s
Procesador	Snapdragon 720G
Velocidad Del Procesador	2,3 GHz
GPU	GPU Adreno 618
Memoria RAM	6 GB
Almacenamiento	128 GB
Wifi	802.11 b/g Wi-Fi 4 (802.11n), Wi-Fi 5 (802.11ac)
Sistema Operativo	Android 11
Cámara	Principal 48 MP f/1.79 Gran angular 8 MP f/2.2 Macro 5 MP f/2.4 Profundidad 2 MP f/2.4

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.9.3 Router inalámbrico

Para realizar la conexión WLAN se utilizó un router inalámbrico de la marca tp-link más concretamente el modelo TL-WR840N como se muestra en la Ilustración 4-3. La configuración de dispositivo es en el modo de Punto de Acceso ubicado en el laboratorio de Robótica. Las especificaciones del router inalámbrica se muestran en la tabla 4-3.



Ilustración 4-3: tp-link TL-WR840N

Fuente: tp-link, 2022

Tabla 4-3: Características del router tp-link TL-WR840N

Marca	tp-link
Modelo	TL-WR840N
Velocidad de transmisión	300 Mbps
Banda	2.4 GHz
Antenas	Tecnología MIMO 2x2 2 antenas Fija Omnidireccional
Ganancia de antena	5dBi
Puertos	1 puerto WAN de 10/1000 Mbps 4 puertos LAN de 10/100 Mbps
Modos	Soporta los modos Router, Extensor de Rango, Punto de Acceso, WISP

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.9.4 *Trípode*

Para ubicar los teléfonos celulares de forma fija se utilizó dos trípodes con sus respectivos soportes para celular. En la ilustración 5-3 se muestra los trípodes de soporte.



Ilustración 5-3: Trípode

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.9.5 Conos de seguridad

Se utilizó cono de seguridad para delimitar la longitud de la escena, y se ubicaron según el escenario. Los conos que se utilizaron se muestran en la ilustración 6-3.



Ilustración 6-3: Conos de seguridad.
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.10 Procedimientos para el sistema

El presente trabajo investigativo consta de las siguientes fases:

3.10.1 Desarrollo del prototipo

Para el desarrollo se utilizó el lenguaje de programación Python, haciendo uso de sus librerías y módulos.

3.10.1.1 Librerías y módulos

En el desarrollo se utilizó la versión de Python v3.10.4, la versión de Mediapipe v0.8.10.1, NumPy v1.23.1, OpenCV v4.6.0.66, pandas v1.4.3, Scikitlearn v1.1.1

Establecimiento de las librerías para el desarrollo del proyecto

```
from tkinter import *
from PIL import ImageTk, Image
import cv2
import mediapipe as mp
import numpy as np
import pandas as pd
from time import time
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import os
from pathlib import Path
```

También se desarrolló el módulo adicional

```
from funciones_pose import *
```

3.10.1.2 Ventana de inicio

Para el desarrollo de la interfaz se utilizó la librería Tkinter. Como se muestra en la ilustración 17-3 para empezar con el programa se debe hacer clic sobre el botón “siguiente”.

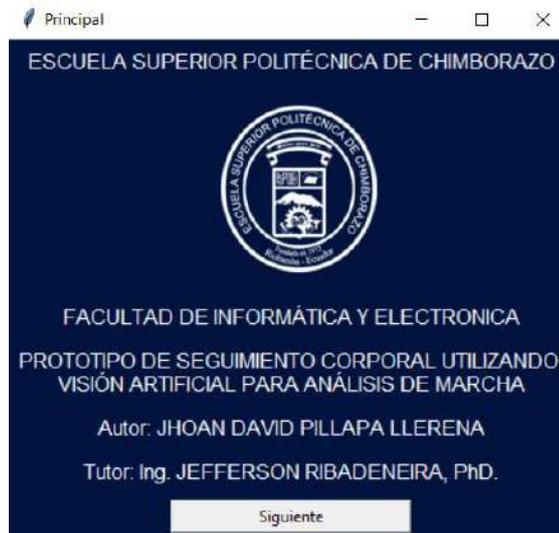


Ilustración 7-3: Ventana de inicio.
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

- Establecimiento de la ventana principal

La ventana principal se la establecido con funcionalidades de Tkinter, la configuración de título, color y etiquetas.

- Establecimiento de botón

Se presenta el botón junto con su llamado para iniciar el prototipo como se indica en el anexo H (sección creación de botón)

- Visualización

```
# para visualizar la ventana en bucle hasta que se cierre  
ventana1.mainloop()
```

3.10.1.3 Ventana secundaria

Se estableció una ventana secundaria indicado para la selección de las cámaras a utilizar dentro del proyecto.

En la ilustración 8-3 se muestra la ventana secundaria de configuraciones. Dentro del recuadro de texto se debe ingresar un número entre 0, 1, 2 etc. Con el fin de seleccionar la cámara que se tenga instalado dentro del ordenador.

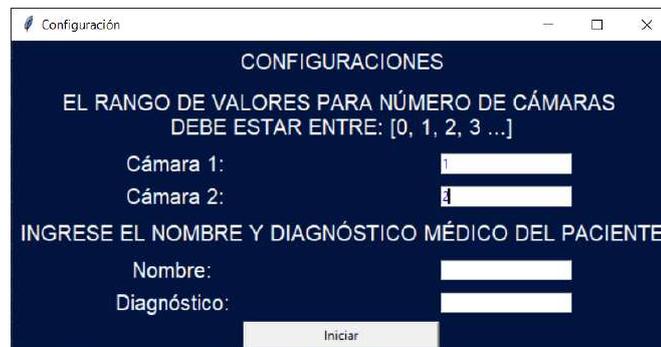


Ilustración 8-3: Ventana de configuración
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.10.1.4 Desarrollo general del proyecto

- Establecimiento de los puntos de referencia y modelo para la estimación de pose

Se debe declarar dos veces “*mp_holistic*”, dependiendo del número de cámaras a utiliza, ya que cada cámara hará uso de un modelo de MediaPipe para estimar la pose.

```
# dibujar las soluciones y obtención de puntos de referencia
mp_drawing = mp.solutions.drawing_utils
mp_drawing1 = mp.solutions.drawing_utils
# Modelo MediaPipe holistic se para la estimación de pose y representación 3D
mp_holistic = mp.solutions.holistic
mp_holistic1 = mp.solutions.holistic
```

- Función de inicio

Para establece la captura video de las cámaras, y el llamado a la siguiente función *iniciar()*. Primero obtenemos los valores capturados de los recuadros de la ventana secundaria. Después, mediante la librería OpenCV permite esta captura de video, permitiendo también el uso de videos previamente grabados.

```
def iniciar():
    cam1 = int(camera1.get())
    cam2 = int(camera2.get())

    global cap, cap1
    cap = cv2.VideoCapture(cam1, cv2.CAP_DSHOW)
    cap1 = cv2.VideoCapture(cam2, cv2.CAP_DSHOW)
    calibracion()
```

- Calibración

La calibración previa, en el que se realiza los llamados a las funciones para obtener el número de fotogramas por segundo nombrada con sus respectivos argumentos “*obtenerTiempoYFPS(tiempo_marcha_n, start_n)*”, así como los puntos de referencia establecida como “*puntosDeCalibracion(salida, salida1, width, height)*” “para la calibración. Para realizar las múltiples interacciones de los fotogramas se utilizó un bucle *while*.

Para los condicionales *if* se estableció la orden “*cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('s')*”, en el que espera un segundo con la letra ‘s’ presionada para pasara a la función de visualizar, sino se cumple pasara a la siguiente condición “*cv2.waitKey(10) & 0xFF == ord('q')*”, estableciendo que se presione durante 10 segundos la letra ‘q’ para finalizar el programa.

- Puntos de calibración

En la ilustración 9-3 para el ajuste de las cámaras con respecto al escenario se crea los siguientes puntos que servirá como guía. El establecimiento de las líneas guía se indica que se requiere como argumentos las salidas de las ventanas de OpenCV, y los datos de ancho y alto recogidos de las cámaras, tales como: *salida, salida1, width, height*.

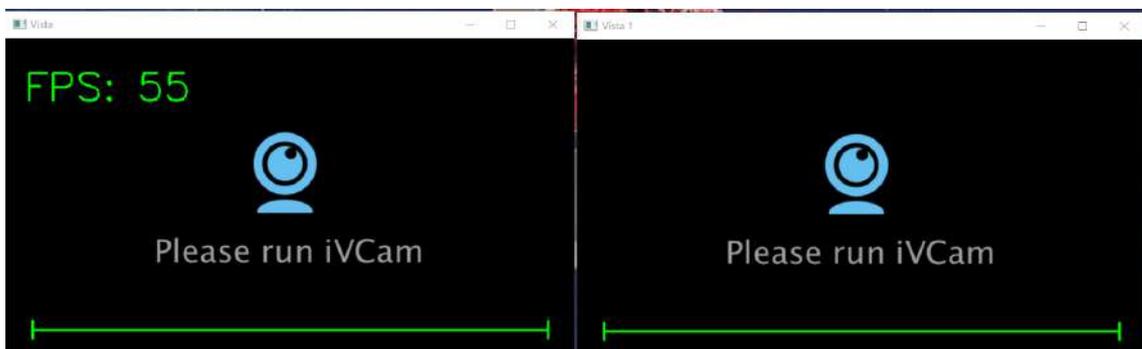


Ilustración 9-3: Puntos de calibración para el escenario
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.10.1.5 Obtención de tiempo y fotogramas por segundo

Para obtener el tiempo de funcionamiento del sistema y los fotogramas por segundo, se establece que el tiempo de ejecución denotado por “*ejecucion_total*” será igual a la diferencia entre el tiempo final denotado por la variable “*end*” y el tipo inicial denotado por la variable “*start*”. Así se establece la ecuación 1-3 representada en el código como $fps = 1 / ejecucion_total$, para obtener los fotogramas, que será inversamente proporcional a la ejecución total en ese proceso de OpenCV. Se obtiene como salida, valores del tiempo de marcha y los fotogramas por segundo.

$$fps = \frac{1}{\text{Tiempo de ejecución}}$$

Ecuación 1-3: Ecuación de fotogramas por segundo

```
def obtenerTiempoyFPS(tiempo_marcha, start):
    end = time()
    ejecucion_total = end - start
    try:
        fps = 1 / ejecucion_total
    except ZeroDivisionError:
        fps = 100
    tiempo_marcha = round((tiempo_marcha + ejecucion_total), 3)
    return tiempo_marcha, fps
```

3.10.1.6 Estimación de pose

Mediante el comando *with* se llama el modelo de *holistic* (el modelo es un archivo *Tensorflow*) para la estimación de puntos, como argumentos se establece que el modo estático este en falso ya que se busca capturar video, y para el modelo de complejidad tiene tres valores: el modelo más rápido y menos preciso es el ‘0’, el modelo ‘1’ es el que cumple las necesidades de desempeño y precisión, el modelo ‘2’ es el más pesado de los tres teniendo mejor precisión pero requiere de un gran poder de procesamiento. Se establecimiento el modelo dos veces debido al uso de dos cámaras. El establecimiento del modelo será:

```
with mp_holistic.Holistic(
    static_image_mode=False,
    model_complexity=1) as holistic:
    with mp_holistic1.Holistic(
        static_image_mode=False,
        model_complexity=1) as holistic1:
        while True:
```

Una vez establecido el modelo se hará un llamado a la función *visualizar()*. En la función se creara los arreglos de tipo Numpy, la obtención de los puntos de referencia mediante la función *puntosReferencia()*, obtención de ángulos mediante la función *obtenerAngulo()*, y la representación en pantalla de los mismos.

- Captura de video

La captura de video se realiza con la función *capturaVideo()*, en el que se obtienen valores de alto y ancho del video. Por defecto OpenCV toma la imagen de entrada como BGR (representación de colores en formato Azul, Verde y Rojo), por lo que es necesario cambiarla al formato RGB (representación de colores en formato Rojo, Verde y Azul). El cambio de formato de color se lo realiza mediante el comando “*cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)*”. Tiene como datos de salida: valor booleano que indica si se realiza la captura de video, valores de la imagen, altura y ancho de la imagen, y resultados del procesamiento del modelo.

```
def capturaVideo(capture, holistic):  
    # La variable ret nos dará un valor booleano, es TRUE cuando se haya  
    # inicializado la imagen  
    ret, frame = capture.read()  
    # Voltear fotografamas  
    #frame = cv2.flip(frame, 1)  
    height, width, _ = frame.shape  
    frame_rgb = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)  
    results = holistic.process(frame_rgb)  
    return ret, frame, height, width, results
```

3.10.1.7 Visualización de ángulos obtenidos

Para la visualización de ángulos se establece la función *visualizerAngulos()*, en el que como parámetros de entrada se tiene puntos de referencia y los ángulos de interés. En el Anexo F se proporciona un manual de uso. Cabe indicar que una vez en obtenidos los ángulos y presionar “s”, esto guardara un *DataFrame* con los valores obtenidos mediante las cámaras y procesadas por el ordenador. La visualización de estos valores se detalla en el capítulo 4 del presente trabajo.

- Función finalizar

Esta función es llamada, cuando se requiera cerrar todas las ventanas abiertas por OpenCV.

```
def finalizar():
    cap.release()
    cv2.destroyAllWindows()
```

3.10.1.8 Módulo de funciones

En el módulo *funciones_pose.py* se estableció funciones para obtener los puntos de referencia, cálculos en la obtención de ángulos.

- Puntos de referencia

En la función *puntosReferencia(results, height, width)* se tiene como parámetros de entrada, los resultados obtenidos del modelo y datos de alto y ancho de la imagen. Para tener como salida 33 puntos de referencia de cuerpo de forma fácil. Se obtiene como salida arreglos de las coordenadas x, y.

```
def puntosReferencia(results, height, width):
    x = []
    y = []
    for i in range(33):
        x = np.append(x, int(results.pose_Landmarks.Landmark[i].x * width))
        y = np.append(y, int(results.pose_Landmarks.Landmark[i].y * height))
    return x, y
```

- Cálculo de ángulos

Para realizar el cálculo de los ángulos, se tiene que seleccionar tres puntos de interés como se muestra en la Ilustración 10-3 para formar un triángulo que mediante la Ecuación 1-3 del teorema del coseno se pueda obtener el ángulo formado por los puntos p1, p2, p3.

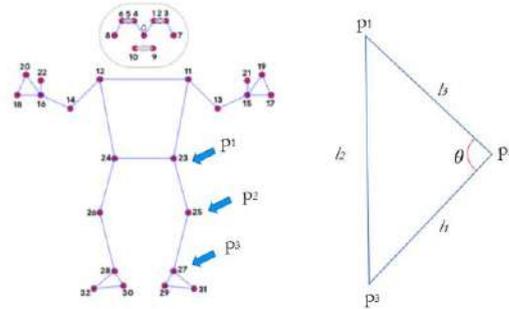


Ilustración 10-3: Selección de los puntos de referencia. Lado derecho: triángulo formado por los puntos de referencia

Fuente: Google, 2017b
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Los puntos p1, p2, p3 se forman como un arreglo de las coordenadas espaciales que se obtuvieron anteriormente. Los lados obtenidos l1, l2, l3 se obtuvieron normalizando con NumPy para obtener la distancia que se genera entre los puntos.

Las coordenadas x, y establecidas pasan por la ecuación 2-3 descrita en el código como “degrees(acos((l1**2 + l3**2 - l2**2) / (2 * l1 * l3)))”. Este proceso se realizó para obtener los ángulos, correspondientes a codos, cadera, rodillas, tobillos.

$$\theta = \text{acos} \frac{l_1^2 * l_3^2 - l_2^2}{2 * l_1 * l_3}$$

Ecuación 2-3: Teorema del coseno

Donde:

l_1, l_2, l_3 : lados del triángulo de las extremidades con distancia en pixeles.

En la siguiente tabla 5-3 se presentan los puntos de referencia obtenidos mediante la ilustración 20-3 que forman cada los triángulos en los que se puede calcular los ángulos de codos, cadera, rodilla, tobillo.

Tabla 5-3: Puntos de referencia para codos, cadera, rodilla, tobillo

	Lado	p1	p2	p3
Codo	Izquierdo	11	13	15
	Derecho	12	14	16
Cadera	Izquierdo	11	23	25
	Derecho	12	14	26
Rodilla	Izquierdo	23	25	27

	Derecho	24	26	28
Tobillo	Izquierdo	25	27	31
	Derecho	26	28	32

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

- Angulo de codo y rodilla

Los puntos de referencia se obtuvieron como muestra la tabla 5-3. El argumento *extremidades* es un valor booleano que se encuentra en *TRUE* cuando se refiere al cálculo del codo, y *FALSE* para el cálculo del ángulo de la rodilla. Obteniendo como salida el ángulo resultante.

- Visualización de ángulos en codos y rodillas

Mediante la visualización en pantalla del triángulo codo y rodilla obtenidos

- Cálculo de ángulo de cadera

Para el cálculo en del Angulo del tobillo se seleccionó los puntos como se muestra en la tabla 5-3, y se aplicó el mismo proceso para obtener el ángulo.

- Visualización en pantalla del triángulo codo y rodilla obtenidos

La visualización en pantalla del triángulo que forma codo y rodilla obtenidos.

- Obtención de ángulo de tobillo

Para el cálculo del ángulo del tobillo se seleccionó los puntos como se muestra en la tabla 5-3, y se aplicó el mismo proceso para obtener el ángulo.

3.10.2 Regresión polinómica

Se escogió la regresión polinómica debido al comportamiento sinusoidal obtenida de la captura de ángulos. Para realizar la regresión polinomial, importamos de librerías. La regresión polinómica es similar a la regresión lineal en la que se agregan características polinómicas para una mejor predicción de los valores.

Para la predicción de regresión polinómica, los valores de modelaron mediante una regresión lineal y mediante características polinomios se utilizó un polinomio de la forma de la ecuación 1-2 de grado 10.

3.10.3 Ciclo de marcha

Para realizar el ciclo de marcha se preparó tres *DataFrame* en el que se incluyó el ciclo normal de marcha de Cadera, rodillas y tobillos, se digitalizo en la siguiente ilustración 11-3 obtenidas del libro de Perry (1992).

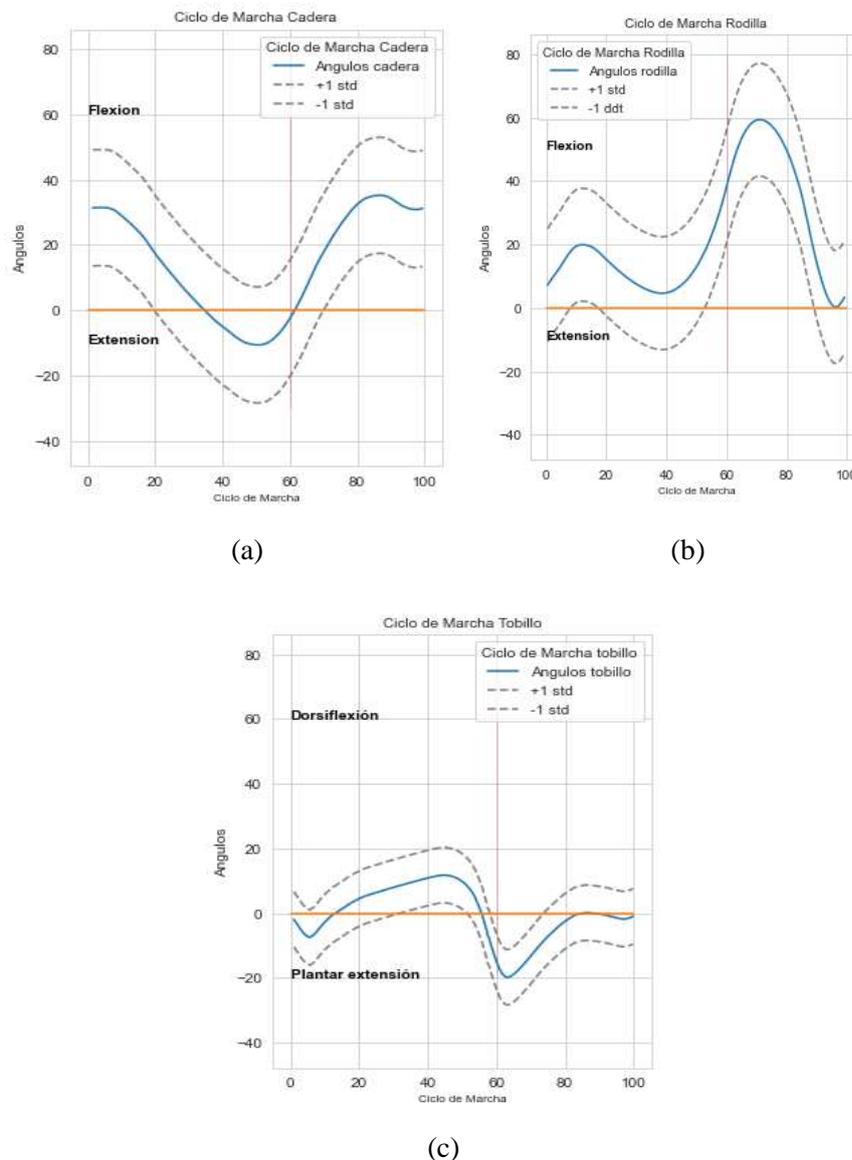


Ilustración 11-3: Ciclo de Marcha Normal: (a) cadera, (b) rodillas y (c) tobillos.

Fuente: Perry, 1992, p. 53, 91, 112

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Para realizar el cálculo de del ciclo de marcha debemos normalizar las gráficas obtenidas en función del tiempo. Se debe escoger un ángulo neutro para cadera, rodilla, tobillo; por lo general un especialista determinara este ángulo, que se genera en el 60% de la marcha en la fase de alcance. (Mientras mejor se coloque estos ángulos, mejor centrado estará la gráfica).

- Para un rápido análisis, se escogió los siguientes valores para los ángulos neutros.

```
# ángulos neutros
CADERA_NEUTRO = 170
RODILLA_NEUTRO = 170
TOBILLO_NEUTRO = 150
```

Con la ecuación 4-3 se realiza la normalización de ángulos para el ciclo de marcha de cada uno de los *DataFrame* obtenidos.

$$\text{ángulos normalizados} = \text{ángulo neutro} - \text{ángulos obtenidos}$$

Ecuación 3-3 Ecuación de normalización de ángulos

3.10.4 Conexión con las cámaras

3.10.4.1 Conexión mediante iVCam

Para pruebas de conexión con las cámaras de los celulares se utilizó el software iVCam en el que se requiere que los tres dispositivos se encuentren conectados mediante cable USB o que se encuentren en la misma red WLAN, también se debe conocer la dirección IP que se le asignó a los dispositivos. Después se debe abrir la aplicación dos veces en el computador y abrir en los dispositivos. En el botón conectar se deberá ingresar las direcciones IP como se muestra en la Ilustración 2-3.

La transmisión de video desde las cámaras hacia el computador se realiza mediante el protocolo TCP y utiliza los puertos de origen 5896 y destino 50384. La resolución de imagen usada para el proyecto es de 640 x 480 pixeles, configurable para múltiples resoluciones.

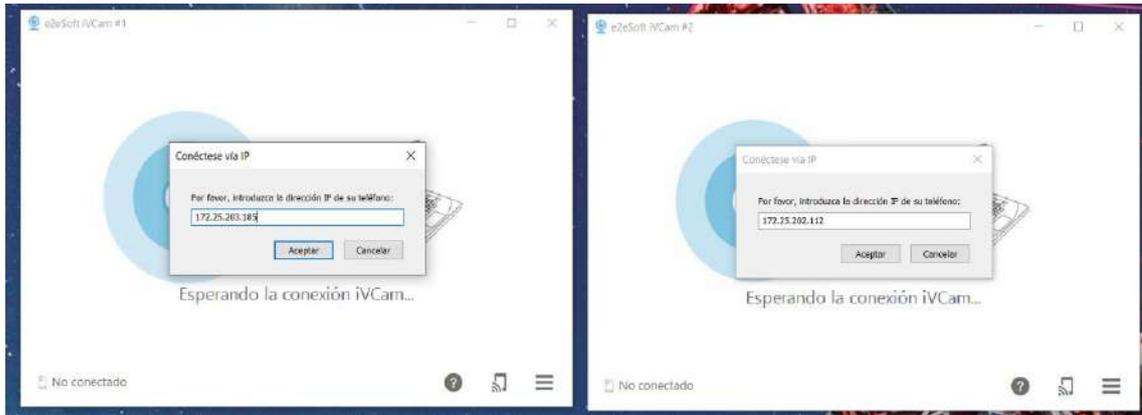


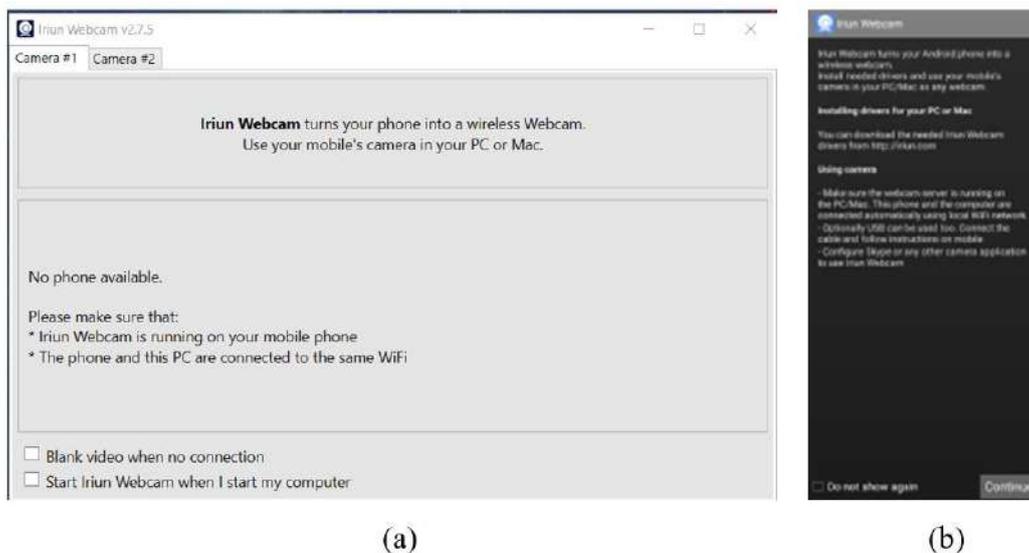
Ilustración 12-3: Conexión de cámaras con iVCam.

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.10.4.2 Conexión mediante Iriun

Iriun ofrece características sencillas y más amigables para la conexión con las cámaras de los celulares. Se requiere que los tres dispositivos se encuentren conectados mediante en la misma red inalámbrica, debemos abrir la aplicación de escritorio como se muestra en la Ilustración 13-3 sección (a), así también en los dispositivos como se muestra en la Ilustración 13-3 en la sección (b) dar clic en “Continuar”, los dispositivos se conectarán automáticamente.

La transmisión de video desde las cámaras hacia el computador se realiza mediante el protocolo TCP y utiliza los puertos de origen 61282 y destino 4699. La resolución de imagen usada para el proyecto es de 640 x 480 pixeles, configurable para múltiples resoluciones.



(a)

(b)

Ilustración 13-3: Conexión de Cámaras con Iriun: (a) Aplicación Iriun para escritorio, (b) Aplicación Iriun para Android

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

3.10.5 Implementación del prototipo

El prototipo de seguimiento corporal utilizando visión artificial para el análisis de marcha se implementó en la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay” ; debido a que el sistema en móvil se realizó pruebas de funcionamiento en el Laboratorio de microondas de la Facultad de Informática y Electrónica, donde se utilizó un computador a disposición de los estudiantes y afines como se muestra en la ilustración 14-3.



Ilustración 14-3: Proceso de ubicación de las cámaras
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Para la implementación se exportó un programa ejecutable mediante la librería de Python “*auto py to exe*”, como se indica en el Anexo D, con el objetivo de acceder a la herramienta de soporte desde cualquier computadora, sin la necesidad de ejecutar software adicional. El computador utilizado para la implementación del simulador tiene como características: sistema operativo Windows 11, procesador Intel i9 de 8va generación y memoria RAM de 32 GB. En el que se pudo ejecutar el programa como se muestra en la siguiente ilustración 25-3. Para el uso del prototipo se elaboró un manual de usuario como se indica en el Anexo F. En la Ilustración 25-3 se muestra la implementación del prototipo en el laboratorio de microondas.

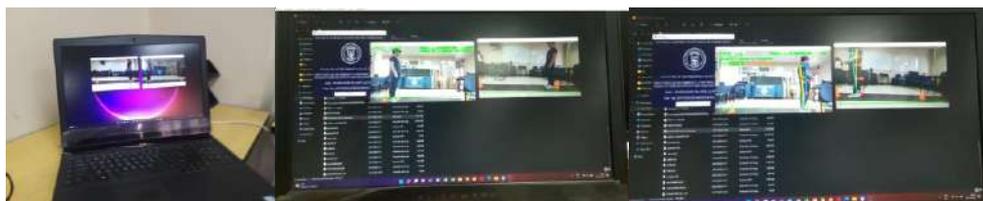


Ilustración 15-3: Implementación del prototipo en el laboratorio de microondas
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

CAPITULO IV

4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del módulo de análisis de marcha, mediante la representación de graficas de ángulos en función del tiempo y el ciclo de marcha obtenido. Para el proceso de adquisición de datos. Se realizó la ubicación de las cámaras, la conexión con el ordenador y la ejecución del prototipo. Las pruebas se realizaron en un ambiente controlado, con buena iluminación y sin oclusiones que puedan afectar la adquisición y procesamiento de la información.

4.1 Resultados

4.1.1 Escenario Indoor

Para el establecimiento del escenario se presenta la siguiente Ilustración 1-4 en el que la distancia entre los conos de seguridad es de 1,90 m, las distancias entre el centro del escenario y la cámara 1 de la vista lateral es de 1,90 cm, la distancia entre la cámara 2 de la vista posterior es de 2 m. La altura de las cámaras debe estar a 75 cm, como se indica en la ilustración 1-4.

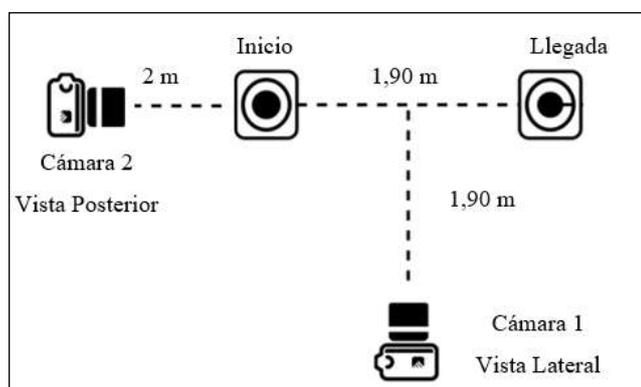


Ilustración 1-4: Escenario Indoor

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.1 Pruebas realizadas en niño pequeño

Se realizó las pruebas en un niño pequeño de 6 años con una altura de 83 cm.

4.1.1.1.1 Gráfica en función del tiempo en niño pequeño

En la siguiente ilustración 2-4 se muestra los ángulos obtenidos en función del tiempo de marcha, en este caso muestra que se tardó 8 segundos en la caminata.

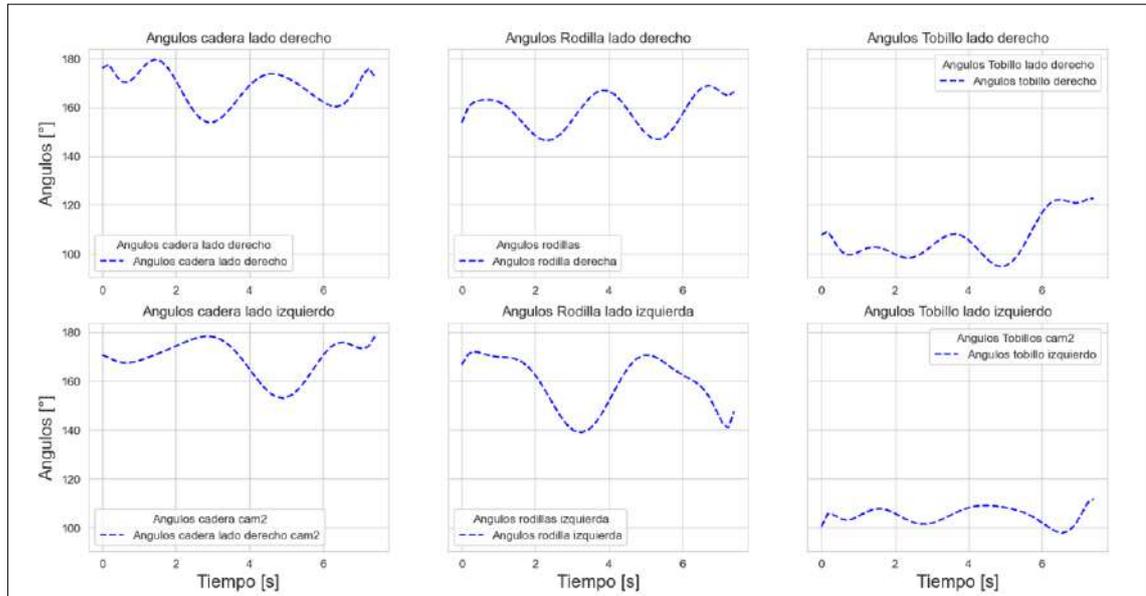


Ilustración 2-4: Gráfica de ángulos de cadera, rodillas y tobillo, en función del tiempo en niño pequeño

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.1.2 Ciclo de marcha en niño pequeño

En la siguiente ilustración se muestra a la izquierda las gráficas del rango de valores normales del ciclo de marcha de referentes a cadera, rodilla y tobillos. En la parte central e izquierda se observan los valores obtenidos por el prototipo. En el análisis se muestra que la cadera muestra una flexión adecuada, a su vez una adecuada flexión en el movimiento de las rodillas. Sin embargo, muestra que se debe ajustar los parámetros para el ángulo de tobillo. En el 60% del ciclo de marcha se tienen valores adecuados en cadera y rodilla, sin embargo, en tobillo se tiene una extensión planar.

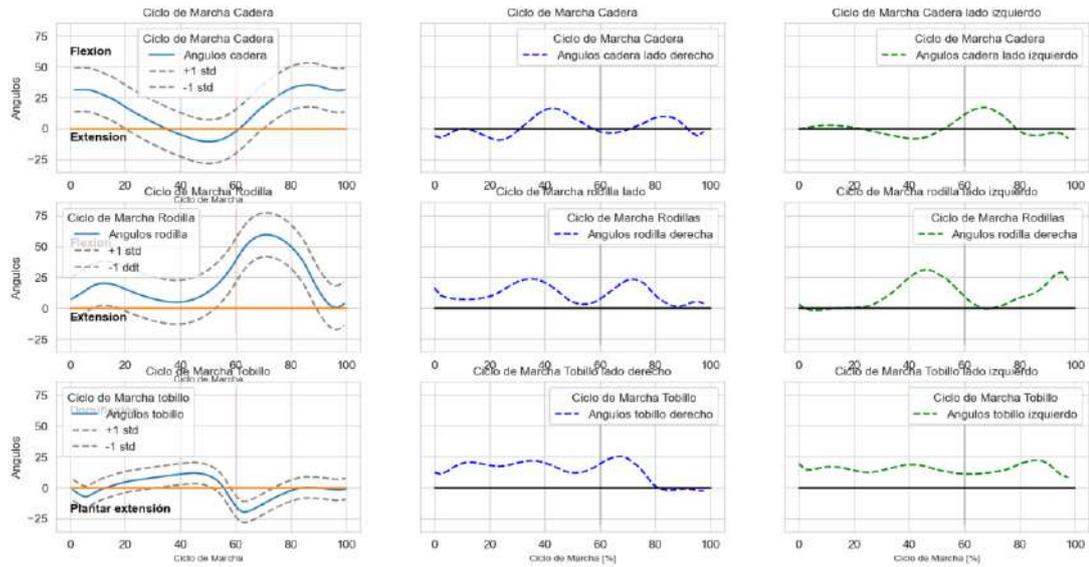


Ilustración 3-4: Gráfica del Ciclo de marcha en niño pequeño
 Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.1.3 Diagrama de Cajas de ángulos de niño pequeño

En la Ilustración 4-4, se observa un cuadro estadístico del diagrama de cajas para identificar valores atípicos en los resultados. Se muestra una distribución normal de los resultados, los valores atípicos son errores que se generan al momento de calcular los ángulos y dichos valores son descartados en el resultado final.

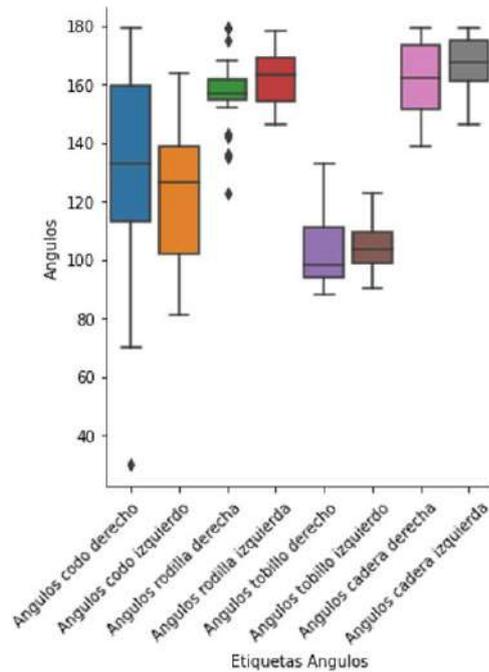


Ilustración 4-4: Diagrama de Cajas de ángulos de niño pequeño
 Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.2 Pruebas realizadas en paciente femenino

Se realizo pruebas de funcionamiento en paciente femenino de 15 años, con una altura de 153 cm.

4.1.1.2.1 Grafica en función del tiempo en paciente femenino

En la Ilustración 5-4 se muestra los ángulos obtenidos en función del tiempo de marcha, en este caso muestra que se tardó 7 segundos en la caminata. En el ciclo de marcha normalizado, los valores temporales no afectan el resultado.

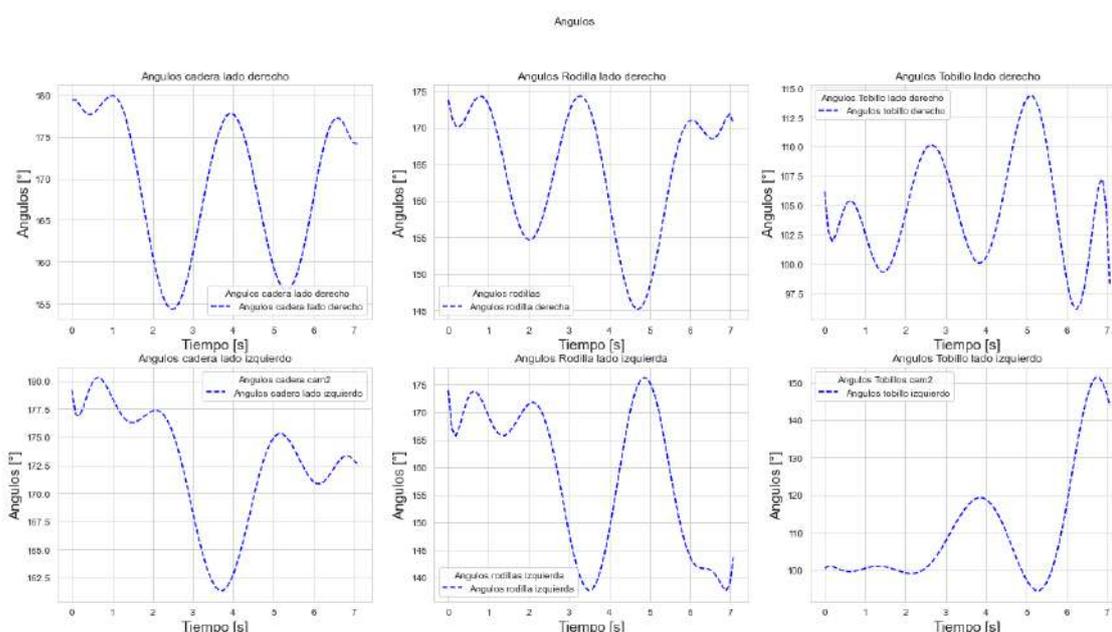


Ilustración 5-4: Gráfica de ángulos de cadera, rodillas y tobillo, en función del tiempo en paciente femenino.

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.2.2 Gráfica del ciclo de marcha en paciente femenino

En la Ilustración 6-4 se muestra a la izquierda las gráficas del rango de valores normales del ciclo de marcha de referentes a cadera, rodilla y tobillos. En la parte centra e izquierda se observan los valores obtenidos por el prototipo. En el análisis se muestra que la cadera se muestra una flexión adecuada del lado derecho, a su vez una adecuada flexión en el movimiento de las rodillas. Los ángulos de rodilla derecha muestran que se tuvo una extensión planar durante la marcha. En el 60% del ciclo de marcha se muestra aproximación a los valores adecuados.

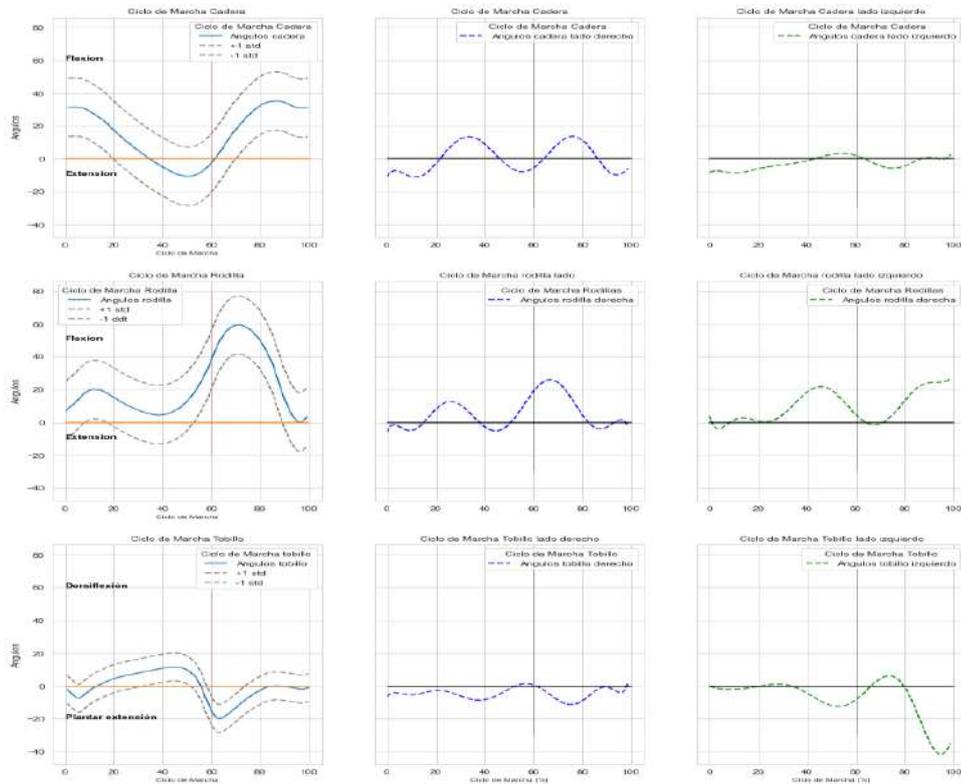


Ilustración 6-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente femenino
 Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.2.3 Diagrama de cajas de ángulos de paciente femenino

En la Ilustración 7-4, se observa un cuadro estadístico del diagrama de cajas para identificar la distribución normal de los resultados. Se muestran valores atípicos en los resultados, estos valores son descartados ya que no contribuyen al resultado final.

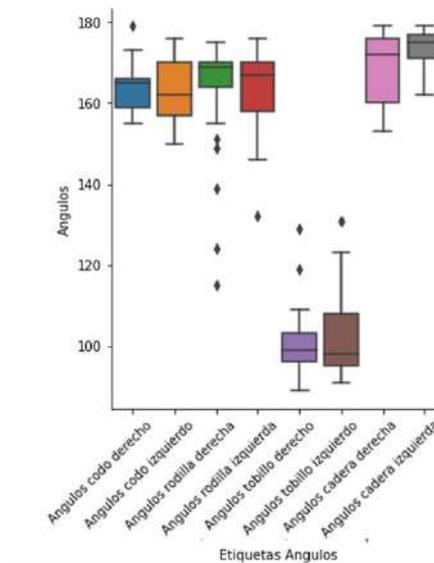


Ilustración 7-4: Diagrama de cajas de ángulos de paciente femenino
 Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.3 Pruebas realizadas en paciente masculino

Se realizo pruebas de funcionamiento en paciente masculino de 19 años, con una altura de 175 cm.

4.1.1.3.1 Gráfica en función del tiempo en paciente masculino

El ciclo de marcha del paciente muestra que se tardó 5 segundos en la caminata.

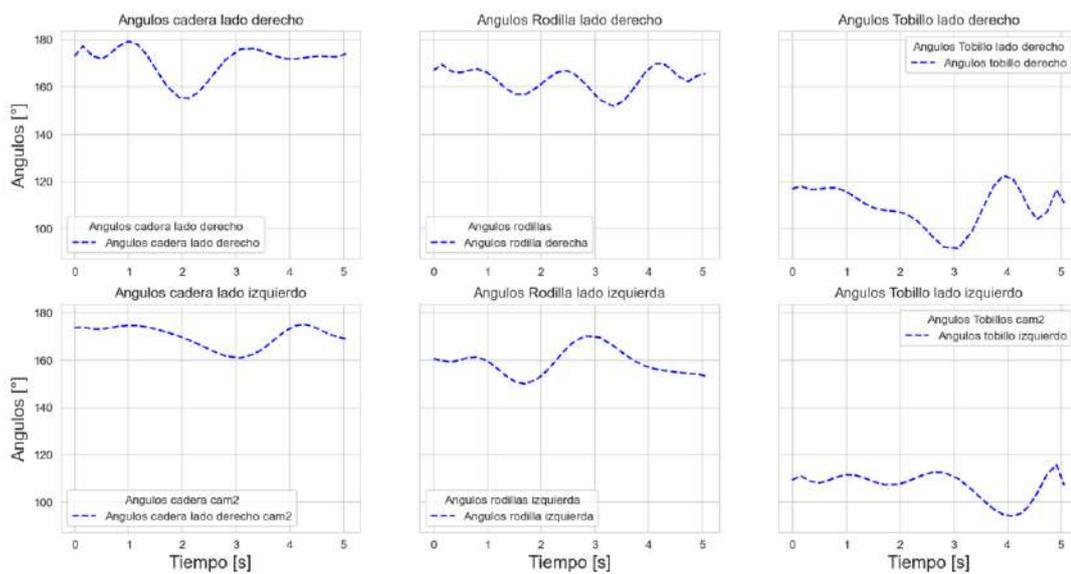


Ilustración 8-4: Gráfica de ángulos de cadera, rodillas y tobillo, en función del tiempo en paciente masculino.

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.3.2 Gráfica del ciclo de marcha en paciente masculino

Se observo que los ángulos obtenidos por el prototipo muestran aproximación en forma en ángulos de cadera del lado derecho con una correcta flexión y extensión, del lado izquierdo muestra un retardo en el análisis de marcha. Los ángulos obtenidos por la rodilla muestran una flexión de las extremidades. También se nota que los ángulos obtenidos por el tobillo se encuentran en dorsiflexión (elevación del pie).

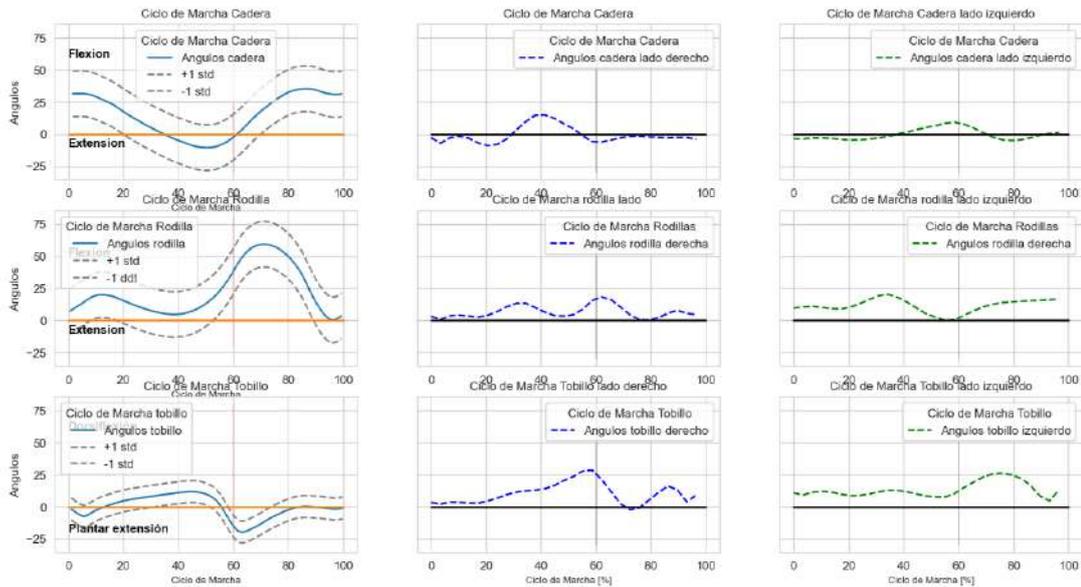


Ilustración 9-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente masculino
 Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.3.3 Diagrama de cajas de ángulos de paciente masculino

En la Ilustración 10-4, se observa un cuadro estadístico del diagrama de cajas para identificar valores atípicos en los resultados. Se muestra una distribución normal de los resultados, con valores atípicos en la tobillo derecho y tobillo izquierdo, ligeramente en la cadera derecha.

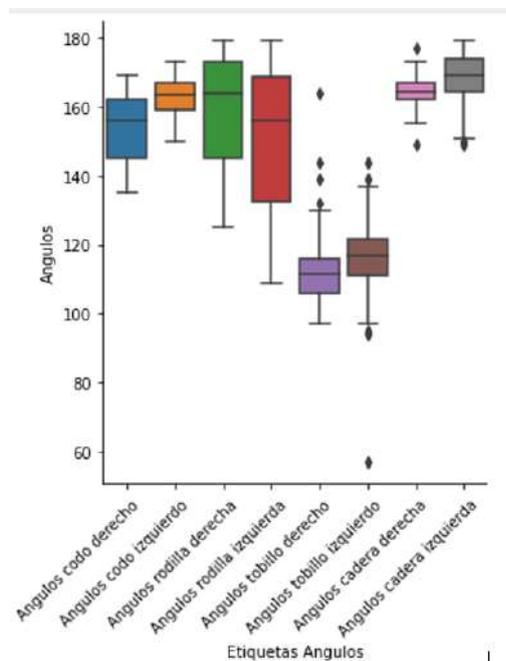


Ilustración 10-4: Diagrama de cajas de ángulos de paciente masculino
 Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.4 Pruebas realizadas en paciente adulto masculino con problemas al caminar

Se realizo pruebas de funcionamiento en paciente masculino de 70 años, con una altura de 160 cm.

4.1.1.4.1 Pruebas realizadas en paciente adulto masculino con problemas al caminar

El ciclo de marcha del paciente muestra que se tardó 8 segundos en la caminata.

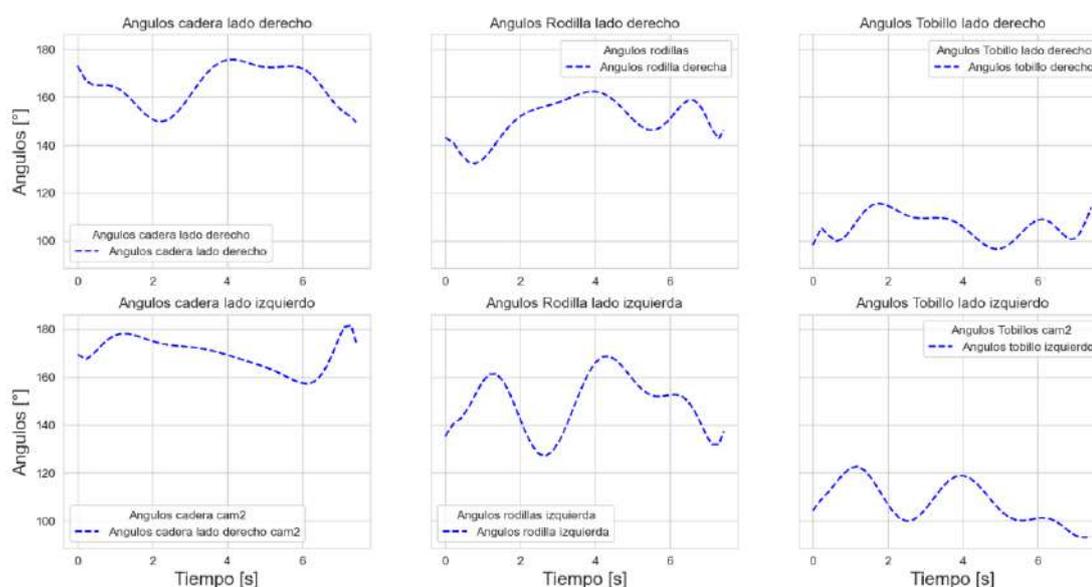


Ilustración 11-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente adulto masculino con problemas al caminar

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.4.2 Gráfica del ciclo de marcha en paciente adulto masculino con problemas al caminar

En la siguiente ilustración se muestra a la izquierda las gráficas del rango de valores normales del ciclo de marcha de referentes a cadera, rodilla y tobillos. En la parte centra e izquierda se observan los valores obtenidos por el prototipo. En el análisis se muestra que la cadera se muestra una flexión inadecuada del lado derecho e izquierdo, a su vez una adecuada flexión en el movimiento de las rodillas. Los ángulos de rodilla derecha muestran que se tuvo una dorsiflexión durante la marcha requiriendo ser ajustado el ángulo neutro del tobillo. En el 60% del ciclo de marcha se muestra aproximación a los valores adecuados en cadera y rodilla, sin embargo, en rodilla muestra una dorsiflexión.

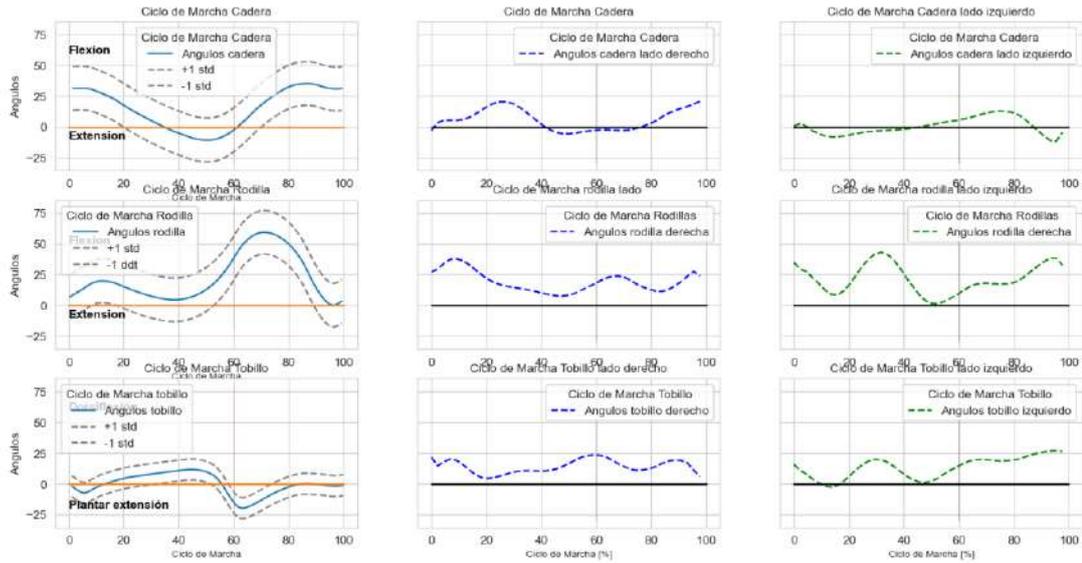


Ilustración 12-4: Gráfica del Ciclo de marcha en paciente adulto masculino con problemas al caminar

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.1.1.4.3 Diagrama de cajas de ángulos de paciente adulto masculino

En la Ilustración 13-4, se observa un cuadro estadístico del diagrama de cajas para identificar valores atípicos en los resultados. Se muestra una distribución normal de los resultados, con valores atípicos que son eliminados en el procesamiento final.

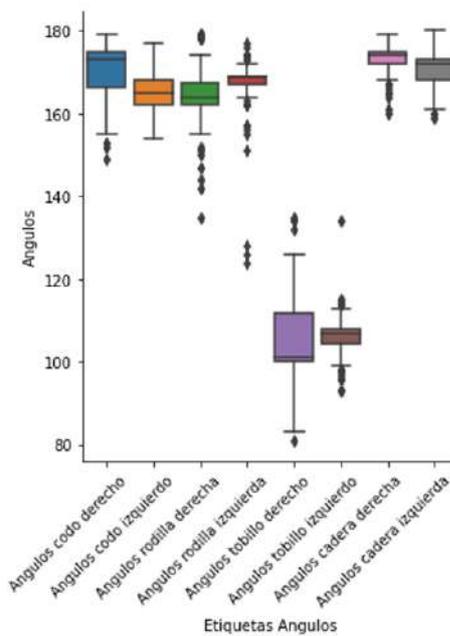


Ilustración 13-4: Diagrama de cajas de ángulos de paciente adulto

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

4.2 Resultados de la Encuesta de Aplicabilidad

PREGUNTA 1

Creo que la aplicación es útil como herramienta de soporte para el análisis de marcha

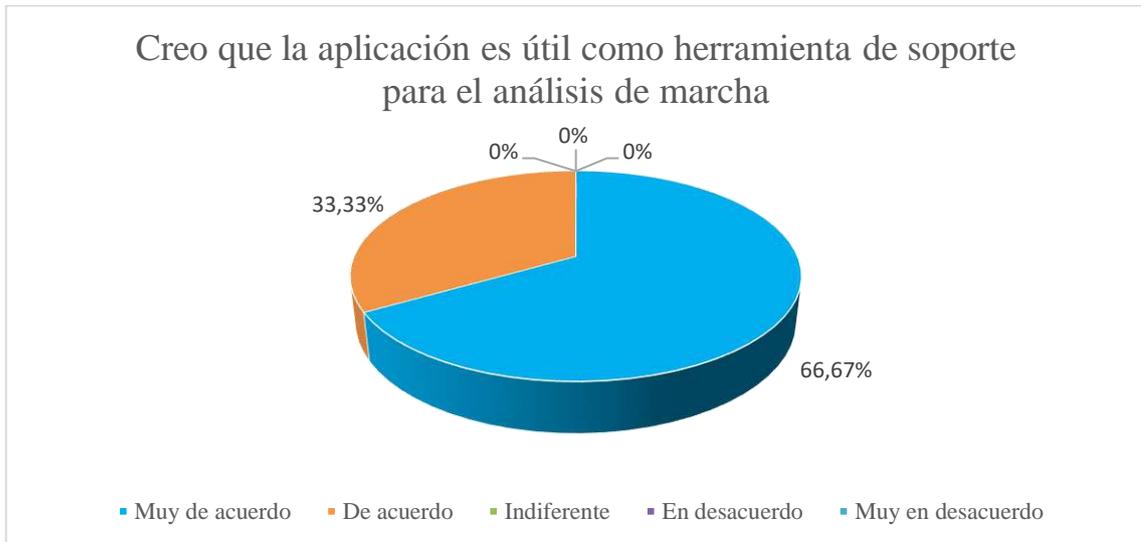


Ilustración 14-4: Resultados de la Pregunta 1 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

Como se observa en la Ilustración 14-4 muestra que los operadores estuvieron muy de acuerdo con la utilidad de la aplicación como herramienta de soporte para el analisis de marcha, donde el 66,67% manifestó estar muy de acuerdo y el 33,33% de acuerdo.

PREGUNTA 2

Pienso que la aplicación grafica es intuitiva y amigable con el usuario.

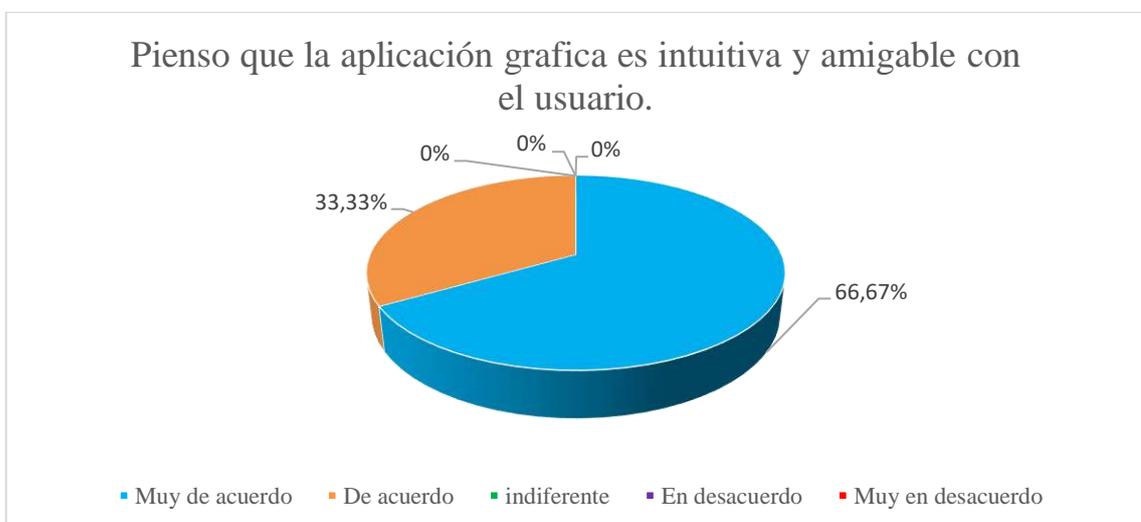


Ilustración 15-4: Resultados de la Pregunta 2 en la Encuesta de Aplicabilidad

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

Los resultados mostrados en la Ilustración 15-4 manifiestan que la interfaz de la aplicación es intuitiva y amigable con el usuario. Con un porcentaje de 66,67% muy de acuerdo y 33,33% de acuerdo. Esto evidencia que la interfaz de la aplicación fue diseñada adecuadamente para la facilidad de uso de los operadores.

PREGUNTA 3

Pienso que me gustaría seguir experimentando distintos escenarios para la aplicación.



Ilustración 16-4: Resultados de la Pregunta 3 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

En la Ilustración 16-4, los operadores se muestran muy de acuerdo en experimentar distintos escenarios para la aplicación. Con el 100% muy de acuerdo, evidencia el entusiasmo de los operadores en probar distintas distribuciones con las cámaras para obtener diferentes perspectivas de los análisis.

PREGUNTA 4

Pienso que las diversas funciones para el análisis de marcha están bien diseñadas.



Ilustración 17-4: Resultados de la Pregunta 4 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

Como se observa en el Ilustración 17-4, se muestran con un 66,67% muy de acuerdos y con 33,33% de acuerdos en las funciones para el analisis de marcha están bien diseñadas.

PREGUNTA 5

Necesito recibir información previa para el uso de la aplicación.



Ilustración 18-4: Resultados de la Pregunta 5 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

En la Ilustración 18-4, se muestra que los encuestados necesitan recibir información previa para el uso de la aplicación de análisis de marcha. Con un 100% muy de acuerdo, esto es debido a que el prototipo de análisis de marcha es una herramienta novedosa y se requiere de una capacitación previa de su funcionamiento.

PREGUNTA 6

Creo que los datos obtenidos por la aplicación muestran características relevantes del paciente.

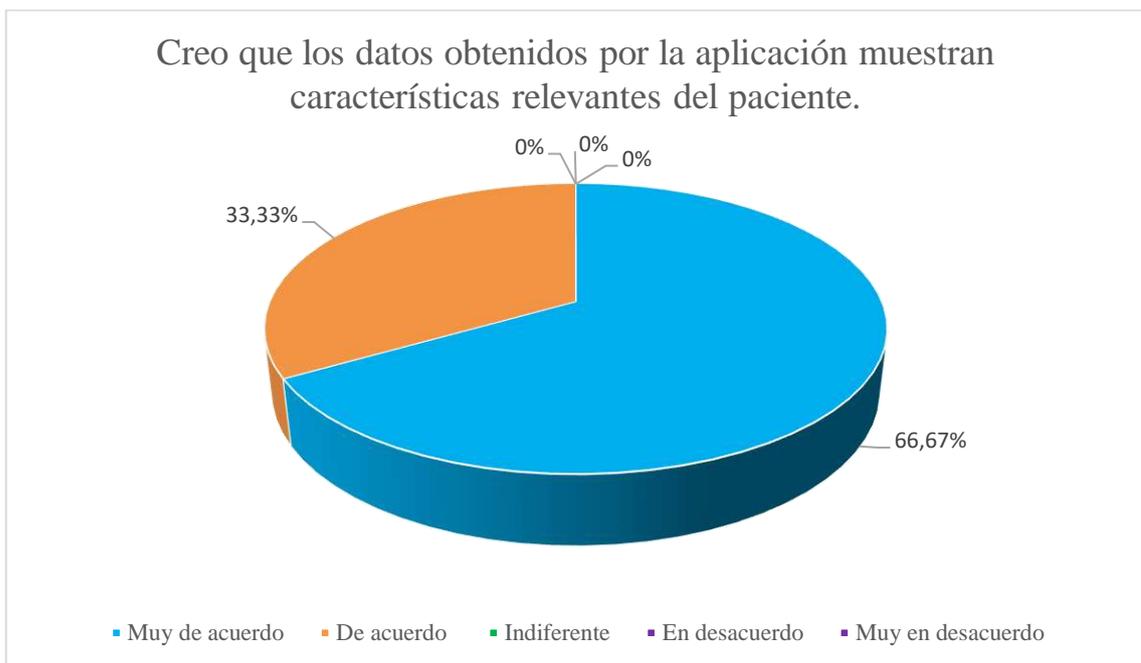


Ilustración 19-4: Resultados de la Pregunta 6 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

Como se observa en la Ilustración 19-4, los encuestados muestran que están muy de acuerdo que los datos obtenidos por la aplicación son relevantes para el análisis de marcha del paciente y su posterior análisis de las observaciones obtenidas, con un 66,67% muy de acuerdo y 33,33% de acuerdo.

PREGUNTA 7

Creo que la mayoría de los usuarios aprendería a usar la aplicación rápidamente.

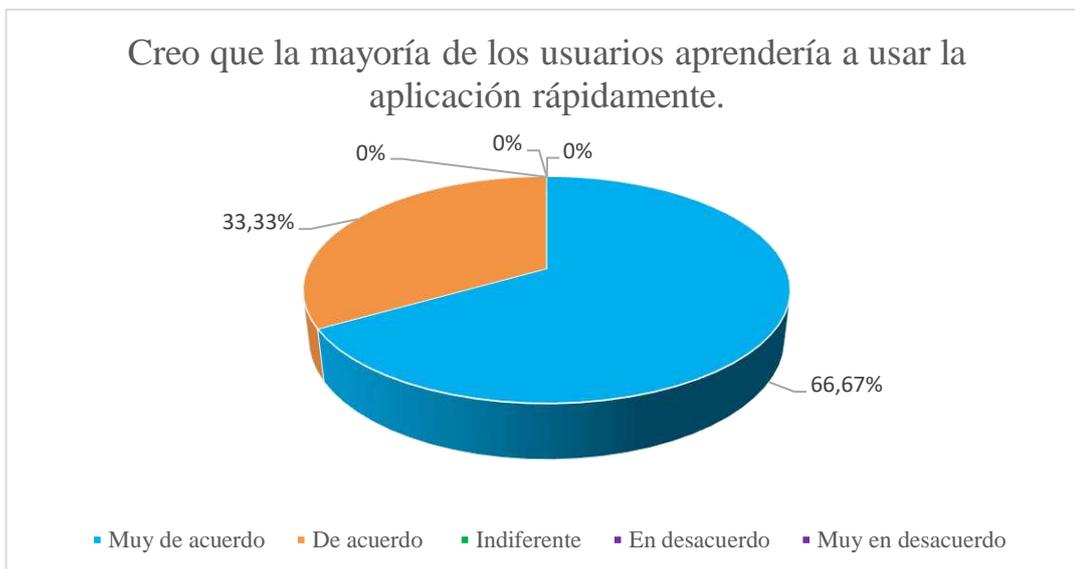


Ilustración 20-4: Resultados de la Pregunta 7 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

En la Ilustración 20-4, muestra que los encuestados están muy de acuerdo en que la mayoría de los usuarios van a aprender a usar la aplicación rápidamente. Con un 66,67% muy de acuerdo y 33,33% de acuerdo, esto evidencia que la aplicación es intuitiva y amigable para los usuarios.

PREGUNTA 8

El uso de la aplicación me ha ayudado a realizar un primer diagnóstico del paciente.

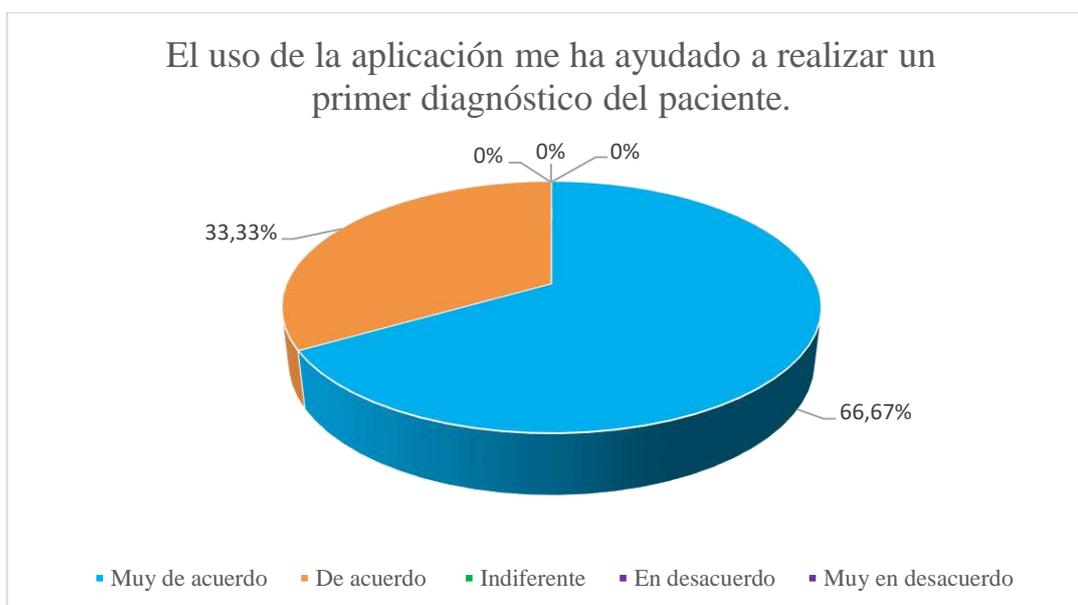


Ilustración 21-4: Resultados de la Pregunta 8 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

En la Ilustración 21-4, se observa que el 66,67% está muy de acuerdo con que el uso de la aplicación les puede ayudar a los operadores para realizar un primer diagnóstico del paciente, mientras que el 33,33% está de acuerdo con esta afirmación.

PREGUNTA 9

Siento que soy capaz de realizar una interpretación de los resultados obtenidos.

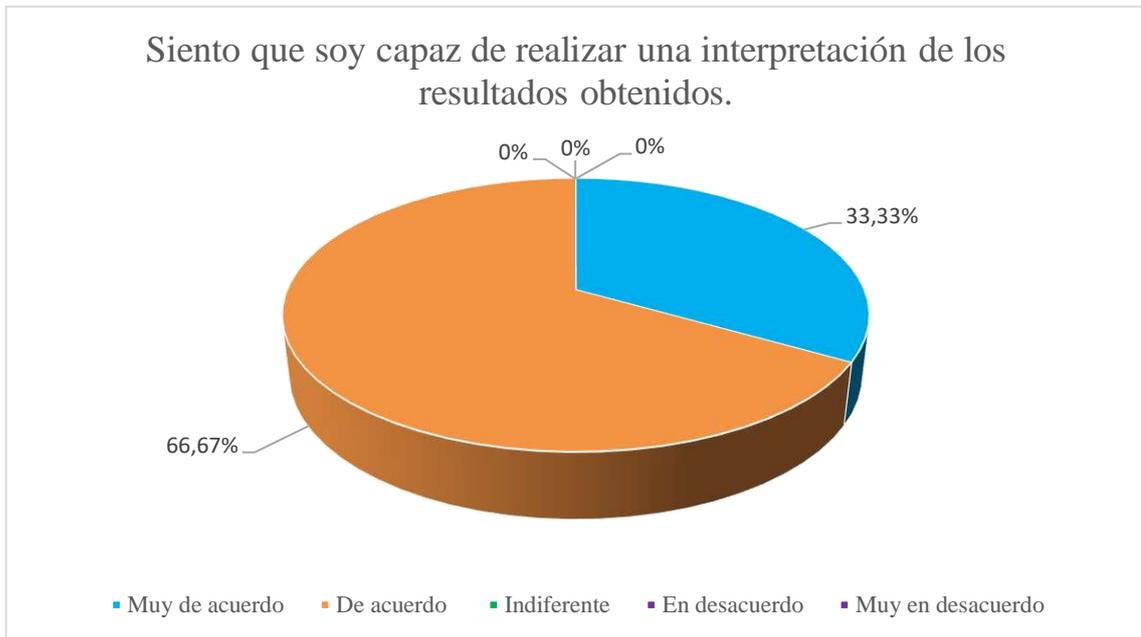


Ilustración 22-4: Resultados de la Pregunta 9 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad
Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

En la Ilustración 22-4, el 66,67% está de acuerdo en que se sienten capaces los operadores de realizar la interpretación de los resultados obtenidos, y el 33,33% está muy de acuerdo con esta afirmación.

PREGUNTA 10

En general, la experiencia de uso del programa ha sido satisfactoria.



Ilustración 23-4: Resultados de la Pregunta 10 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Fuente: Encuesta de Aplicabilidad

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

Interpretación:

En la Ilustración 23-4, el 66,67% está muy de acuerdo en el que la experiencia general del programa ha sido satisfactoria, y el 33,33% está de acuerdo con ello. Evidenciando que la aplicación es de gran utilidad y fácil uso para los operadores.

4.3 Presupuesto del trabajo

En la tabla 1-4 se detalla cada uno de los equipos, materiales y gastos utilizados en el desarrollo del presente trabajo, con un total de \$1944 dólares americanos.

Tabla 1-4: Presupuesto del trabajo

Artículo	Equipamiento	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Xiaomi Redmi Note 9s	2	\$250,00	\$500,00
2	Ordenador Intel i7 de 9na generación, 16 GB de RAM, tarjeta NVIDIA GeForce GTX 1660 ti	1	\$1400,00	\$1400,00
3	Trípode para Cámara	2	\$15,00	\$30,00
4	Conos de seguridad	2	\$7,00	\$14,00
			TOTAL	\$1944,00

Realizado por: Pillapa, Jhoan, 2022

CONCLUSIONES

- Se realizó el estudio de las diversas tecnologías de seguimiento corporal, identificando así que los sistemas ópticos sin marcadores presentan características no invasivas para la persona, a su vez que su implementación y uso son más simples y a un menor costo. Esta interfaz informática permite interactuar con las máquinas debido a su amplia y prometedora gama de aplicaciones en ámbitos de entretenimiento, telepresencia mediante metaversos, realidad virtual, control de dispositivos mediante gestos, animación digital, etc.
- En la selección y desarrollo del proyecto se utilizó visión por ordenador mediante cámaras, dispositivos móviles y un computador que ejecute el prototipo para estimar poses y rastrear el movimiento del esqueleto humano. Los hallazgos de este trabajo conforman la viabilidad de rastrear la cinemática y el análisis de marcha.
- Se desarrolló un prototipo para el procesamiento del seguimiento corporal en el contexto del análisis de marcha mediante el lenguaje de programación Python y varias librerías se programó el código y se diseñó una interfaz gráfica sencilla para el sistema. A su vez, mediante las cámaras de los dispositivos móviles se realizó la captura de video para utilizarla en evaluar cuantitativamente el movimiento de la persona mediante el ciclo de marcha, brindando un proceso automático y fácil de usar.
- Mediante programación en Python con el uso de la librería MediaPipe se desarrolló el proyecto para evaluar el ciclo de marcha cuantitativamente del movimiento de la persona, brindando un proceso automático y fácil de usar, funcionando a una media de 8 fotogramas por segundo.
- Las pruebas realizadas se observaron de forma objetiva parámetros cuantitativos característicos del patrón de marcha presentados por fuentes especializadas en el análisis de marcha. Presentando un rango de valores normales para la extensión y flexión de movimiento para los codos de 0° a 180° , cadera de 140° a 180° , rodillas de 120° a 180° , tobillo de 90° a 130° .
- Para la evaluación del prototipo se realizó una encuesta aplicada a especialistas de la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay”, reflejando buenos resultados hacia el desempeño del proyecto y que sirvieron como retroalimentación para la mejora del software.

- Este trabajo da paso hacia nuevas aplicaciones en entornos donde una adquisición basada en video sería útil, con una evaluación rápida y económica por parte de operadores.

RECOMENDACIONES

- El marco de desarrollo denominado MediaPipe tiene una limitación en cuanto al número de personas que puede detectar y realizar la estimación de pose, es por ello para futuras pruebas con mayor número de cámaras se requerirá agregar más módulos holísticos para la detección de pose.
- Para optimización la velocidad de procesamiento de los fotogramas por segundo, se esperan mejoras de velocidad y eficiencia en el desarrollo de MediaPipe, Python. Así también, se espera compatibilidad con la unidad de procesamiento gráfico GPU para realizar mejoras en la ejecución.
- Para futuras investigaciones sobre seguimiento corporal, se recomienda continuar con desarrollo de entornos que se utilicen video sin marcadores y continuar con investigación seguimiento corporal mediante visión por computador en aplicaciones como realidad aumentada, realidad virtual, metaversos, etc.
- Se recomienda seguir realizando pruebas diversos tipos de cámaras en ambientes controlados y no controlados, pues los factores de iluminación, las oclusiones, la velocidad de los movimientos, y distancia a la que se encuentre la persona desde el dispositivo que capta las imágenes pueden afectar la eficiencia del sistema.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, L., 2020. *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* [en línea]. Posgrado. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador. [Consulta: 16 March 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18689>.

AMAT, J., 2020. Machine Learning con Python y Scikitlearn. [en línea]. [Consulta: 3 August 2022]. Disponible en: https://www.cienciadedatos.net/documentos/py06_machine_learning_python_scikitlearn.html.

BARRANCO G., A.I., MARTÍNEZ DÍAZ, S. and GÓMEZ T., J.L., 2018. Visión estereoscópica con Matlab y OpenCV. , pp. 144.

BAZAREVSKY, V. and GRISHCHENKO, I., 2020. *Blog de Google AI: Seguimiento de la pose corporal en el dispositivo y en tiempo real con MediaPipe BlazePose* [en línea]. 13 August 2020. S.l.: s.n. [Consulta: 19 July 2022]. Disponible en: <https://ai.googleblog.com/2020/08/on-device-real-time-body-pose-tracking.html>.

BAZAREVSKY, V., GRISHCHENKO, I., RAVEENDRAN, K., ZHU, T., ZHANG, F. and GRUNDMANN, M., 2020. BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking. [en línea], [Consulta: 19 July 2022]. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/2006.10204v1.pdf>.

BRAVO M., D.A., RENGIFO R., C.F., AGREDO R., W., BRAVO M., D.A., RENGIFO R., C.F. and AGREDO R., W., 2016. Comparación de dos Sistemas de Captura de Movimiento por medio de las Trayectorias Articulares de Marcha. *Revista mexicana de ingeniería biomédica* [en línea], vol. 37, no. 2, pp. 149–160. [Consulta: 17 July 2022]. ISSN 0188-9532. DOI 10.17488/RMIB.37.2.2. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322016000200149&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

BTS BIOINGENIERÍA, 2021. BTS GAITLAB | Sistemas Integrados de Análisis de la Marcha. [en línea]. [Consulta: 23 April 2022]. Disponible en: <https://www.btsbioengineering.com/products/bts-gaitlab-gait-analysis/>.

BULAT, A. and TZIMIROPOULOS, G., 2016. Human pose estimation via Convolutional Part Heatmap Regression. , DOI 10.1007/978-3-319-46478-7_44.

CAILLETTE, F., GALATA, A. and HOWARD, T., 2008. Real-time 3-D human body tracking using learnt models of behaviour. *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 109, no. 2, pp. 112–125. ISSN 1077-3142. DOI 10.1016/J.CVIU.2007.05.005.

CÁRDENAS, E.A., MORALES, L.Y. and USSA, A., 2015. La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *ResearchGate* [en línea], vol. 13, pp. 20. [Consulta: 16 March 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-65862015000200010&script=sci_abstract&tlng=es.

CMU-PERCEPTUAL-COMPUTING-LAB, 2022. CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose: OpenPose: Real-time multi-person keypoint detection library for body, face, hands, and foot estimation. [en línea]. [Consulta: 20 July 2022]. Disponible en: <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>.

CONDA IO, 2022. Conda — Conda documentation. [en línea]. [Consulta: 12 June 2022]. Disponible en: <https://docs.conda.io/en/latest/>.

CONDE, G., MIKEL, S. and ASTARBE, A., 2019. DESARROLLO DE MARCADORES ACTIVOS PARA APLICACIONES DE CAPTURA DE MOVIMIENTO 3D. ,

CONTEMPLAS, 2022. Solutions - CONTEMPLAS. [en línea]. [Consulta: 23 April 2022]. Disponible en: <https://contemplas.com/en/motion-analysis/solutions/>.

CRESPO, M., 2012. AMR Producciones: CAPTURA DE MOVIMIENTO 3d. [en línea]. [Consulta: 9 July 2022]. Disponible en: <https://amrproducciones.blogspot.com/2011/07/captura-de-movimiento-3d.html>.

DOMÉNECH, J., 2018. *Estudio del estado del arte de los métodos de estimación de la pose humana en 3D* [en línea]. S.l.: Universidad de Alicante. [Consulta: 12 April 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/159143016.pdf>.

DUQUE, R.G., 2011. Python PARA TODOS. [en línea], [Consulta: 15 May 2022]. Disponible en: <https://duenaslerin.com/tico2/pdfs/python-para-todos.pdf>.

E2ESOFT, 2016. iVCam - Utilice el teléfono móvil como una cámara web de PC | E2ESOFT. [en línea]. [Consulta: 18 July 2022]. Disponible en: <https://www.e2esoft.com/ivcam/>.

FISIOACTIVA FISIOTERAPIA, 2017. Biomecánica - Fisioactiva. [en línea]. [Consulta: 18 July 2022]. Disponible en: <https://fisioactiva.com/biomecanica/>.

GONZALEZ, L., 2019. Regresión Polinomial - Teoría - Aprende IA. [en línea]. [Consulta: 3 August 2022]. Disponible en: <https://aprendeia.com/algorithm-regresion-polinomial-machine-learning/>.

GOOGLE, 2017a. MediaPipe Pose. [en línea]. [Consulta: 24 June 2022]. Disponible en: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/holistic.html>.

GOOGLE, 2017b. Pose - MediaPipe. [en línea]. [Consulta: 19 July 2022]. Disponible en: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html>.

GOOGLE, 2022a. Google/MediaPipe: Cross-platform, customizable ML solutions for live and streaming media. [en línea]. [Consulta: 18 July 2022]. Disponible en: <https://github.com/google/mediapipe>.

GOOGLE, 2022b. Google/MediaPipe: Cross-platform, customizable ML solutions for live and streaming media. [en línea]. [Consulta: 20 July 2022]. Disponible en: <https://github.com/google/mediapipe>.

GOOGLE-CORAL, 2021. Google-coral/project-posenet: Detección de pose humana en EdgeTPU. [en línea]. [Consulta: 20 July 2022]. Disponible en: <https://github.com/google-coral/project-posenet>.

KELAPTOP, 2020. Lenovo Legion Y545 81Q60002US: Precio, opiniones y características. [en línea]. [Consulta: 18 July 2022]. Disponible en: <https://kelaptop.com/es/lenovo-legion-y545-81q60002us>.

KUKIL, 2022. Introducción a la | MediaPipe AprenderOpenCV. [en línea]. [Consulta: 29 May 2022]. Disponible en: <https://learnopencv.com/introduction-to-mediapipe/>.

LUIS, J. and GONZALES, A., 2021. *Proyecto de Tesis Guía para la elaboración* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 3 July 2022]. ISBN 9786120054161. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/350072280_Proyecto_de_Tesis_guia_para_la_elaboracion.

MATPLOTLIB ORG, 2012. Plot types — Matplotlib 3.5.2 documentation. [en línea]. [Consulta: 9 August 2022]. Disponible en: https://matplotlib.org/stable/plot_types/index.html.

MATPLOTLIB ORG, 2021. Matplotlib — Visualización con Python. [en línea]. [Consulta: 31 May 2022]. Disponible en: <https://matplotlib.org/>.

MEDIAPIPE, 2020. MediaPipe Holistic. [en línea]. [Consulta: 9 July 2022]. Disponible en: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/holistic.html>.

MEDIAPIPE, 2022. Solutions - mediapipe. [en línea]. [Consulta: 18 July 2022]. Disponible en: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/solutions.html>.

MEDICAL MASSAGE THERAPY, 2014. Gait Assessment. [en línea]. [Consulta: 19 July 2022]. Disponible en: <https://www.massagetherapyreference.com/gait-assessment/>.

MONTAGUD, N., 2020. Los 12 tipos de técnicas de investigación: características y funciones. [en línea]. [Consulta: 13 July 2022]. Disponible en: <https://psicologiyamente.com/cultura/tipos-tecnicas-investigacion>.

NAGYFI, R., 2018. The differences between Artificial and Biological Neural Networks. *Towards Data Science* [en línea]. [Consulta: 15 May 2022]. Disponible en: <https://towardsdatascience.com/the-differences-between-artificial-and-biological-neural-networks-a8b46db828b7>.

NUMPY, 2005. NumPy. [en línea]. [Consulta: 29 May 2022]. Disponible en: <https://numpy.org/about/>.

NUMPY, 2022. What is NumPy? — NumPy v1.23 Manual. [en línea]. [Consulta: 9 August 2022]. Disponible en: <https://numpy.org/doc/stable/user/whatisnumpy.html>.

NVIDIA, 2018. Red neuronal convolucional (CNN) | Desarrollador NVIDIA. [en línea]. [Consulta: 9 August 2022]. Disponible en: <https://developer.nvidia.com/discover/convolutional-neural-network>.

OPENCV ORG, 2020. About - OpenCV. [en línea]. [Consulta: 29 May 2022]. Disponible en: <https://opencv.org/about/>.

PANDAS ORG, 2008. Pandas. [en línea]. [Consulta: 29 May 2022]. Disponible en: <https://pandas.pydata.org/about/>.

PERRY, J., 1992. *GAIT ANALYSIS Normal and Pathological Function*. Grove Road: SLACK Incorporated.

PIRKER, W. and KATZENSCHLAGER, R., 2017. Gait disorders in adults and the elderly: A clinical guide. *Wiener Klinische Wochenschrift*, vol. 129, no. 3–4, pp. 81–95. ISSN 16137671. DOI 10.1007/S00508-016-1096-4.

PYTHON ORG, 2022. Interfaces gráficas de usuario con Tk — documentación de Python - 3.10.5. [en línea]. [Consulta: 12 June 2022]. Disponible en: <https://docs.python.org/es/3/library/tk.html>.

RADZKI, P., 2022. Detección de puntos de referencia del cuerpo humano - Comparación MediaPipe y OpenPose | HearAI. [en línea]. [Consulta: 20 July 2022]. Disponible en: <https://www.hearai.pl/post/14-openpose/>.

SÁNCHEZ, F. and BARRIOS, J., 2016. *El análisis biomecánico de la marcha en personas con discapacidad motora* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 19 July 2022]. Disponible en: <https://efdeportes.com/efd230/el-analisis-de-la-marcha-con-discapacidad.htm>.

SEABORN, 2012. Una introducción a seaborn — seaborn 0.11.2 documentation. [en línea]. [Consulta: 26 July 2022]. Disponible en: <https://seaborn.pydata.org/introduction.html>.

STÖCKEL, T., JACKSTEIT, R., BEHRENS, M., SKRIPITZ, R., BADER, R. and MAU-MOELLER, A., 2015a. The mental representation of the human gait in young and older adults. *Frontiers in Psychology*, vol. 6. ISSN 16641078. DOI 10.3389/FPSYG.2015.00943.

STÖCKEL, T., JACKSTEIT, R., BEHRENS, M., SKRIPITZ, R., BADER, R. and MAU-MOELLER, A., 2015b. The mental representation of the human gait in young and older adults. *Frontiers in Psychology* [en línea], vol. 6. [Consulta: 19 July 2022]. DOI 10.3389/FPSYG.2015.00943. Disponible en: <https://www.protokinetics.com/understanding-phases-of-the-gait-cycle/>.

TP-LINK, 2022. TL-WR840N | Router Inalámbrico N 300Mbps | TP-Link Ecuador. [en línea]. [Consulta: 18 July 2022]. Disponible en: <https://www.tp-link.com/ec/home-networking/wifi-router/tl-wr840n/>.

UNZUETA, L., 2015. La captura de movimiento de bajo coste aplicada al rendimiento. [en línea]. [Consulta: 10 July 2022]. Disponible en: https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/kirol_eskola_prestakuntza_jard/es_def/adjuntos/Luis%20Unzueta.pdf.

VIDUSHI, M., 2022a. 87 Most Popular Computer Vision Applications in 2022 - viso.ai. [en línea]. [Consulta: 23 April 2022]. Disponible en: <https://viso.ai/applications/computer-vision-applications/>.

VIDUSHI, M., 2022b. Las 87 aplicaciones de visión por computadora más populares para 2023 - viso.ai. [en línea]. [Consulta: 8 August 2022]. Disponible en: <https://viso.ai/applications/computer-vision-applications/>.

VILLA, A., GUTIÉRREZ, E. and PÉREZ, J., 2008. CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA. TÉCNICAS DE VIDEOGRAMETRÍA, ELECTROMIOGRAFÍA Y DINAMOMETRÍA. *Revista Ingeniería Biomédica* [en línea], [Consulta: 13 June 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622008000100004.

ZAGO, M., LUZZAGO, M., MARANGONI, T., DE CECCO, M., TARABINI, M. and GALLI, M., 2020. 3D Tracking of Human Motion Using Visual Skeletonization and Stereoscopic Vision. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 8, pp. 181. ISSN 22964185. DOI 10.3389/FBIOE.2020.00181/BIBTEX.

ANEXOS

Anexo A: Instalación de librerías

- Instalación de Matplotlib

Ejecutamos el comando en una terminal con el entorno virtual “pip install matplotlib”

```
C:\Users\jhoan>pip install matplotlib
Collecting matplotlib
  Downloading matplotlib-3.5.2-cp37-cp37m-win_amd64.whl (7.2 MB)
    |#####| 7.2 MB 819 kB/s
Collecting pillow<6.2.0
  Downloading pillow-9.1.1-cp37-cp37m-win_amd64.whl (3.3 MB)
    |#####| 3.3 MB 99 kB/s
Collecting cycler<0.10
  Using cached cycler-0.11.0-py3-none-any.whl (6.4 kB)
Requirement already satisfied: pyparsing<2.2.3 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\data-science\lib\site-packages (from matplotlib) (3.0.8)
Requirement already satisfied: python-dateutil<=2.7 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\data-science\lib\site-packages (from matplotlib) (2.8.2)
Collecting kiwisolver<1.0.1
  Using cached kiwisolver-1.4.2-cp37-cp37m-win_amd64.whl (54 kB)
Collecting fonttools<4.22.0
  Downloading fonttools-4.23.3-py3-none-any.whl (930 kB)
    |#####| 930 kB 1.6 MB/s
Requirement already satisfied: packaging<20.0 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\data-science\lib\site-packages (from matplotlib) (21.3)
Requirement already satisfied: numpy<=1.17 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\data-science\lib\site-packages (from matplotlib) (1.21.0)
Requirement already satisfied: typing-extensions in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\data-science\lib\site-packages (from kiwisolver>=1.0.1->matplotlib) (4.2.0)
Requirement already satisfied: six<=1.5 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\data-science\lib\site-packages (from python-dateutil>=2.7->matplotlib) (1.16.0)
Installing collected packages: pillow, kiwisolver, fonttools, cycler, matplotlib
Successfully installed cycler-0.11.0 fonttools-4.23.3 kiwisolver-1.4.2 matplotlib-3.5.2 pillow-9.1
```

- Instalación NumPy

Ejecutamos el comando en una terminal con el entorno virtual “pip install numpy”

```
(pytho_10) C:\Users\jhoan>conda install numpy
Collecting package metadata (current_repodata.json): done
Solving environment: done

==> WARNING: A newer version of conda exists. <==
  current version: 4.10.3
  latest version: 4.13.0
Please update conda by running
  $ conda update -n base -c defaults conda

# All requested packages already installed.
```

- Instalación de Pandas

Ejecutamos el comando en una terminal con el entorno virtual “pip install pandas”

```
(mp_zed_new) C:\Users\jhoan>code
(mp_zed_new) C:\Users\jhoan>pip install pandas
Requirement already satisfied: pandas in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\mp_zed_new\lib\site-packages (1.3.5)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.7.3 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\mp_zed_new\lib\site-packages (from pandas) (2.8.2)
Requirement already satisfied: numpy>=1.17.3 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\mp_zed_new\lib\site-packages (from pandas) (1.21.6)
Requirement already satisfied: pytz>=2017.3 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\mp_zed_new\lib\site-packages (from pandas) (2022.3)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in c:\users\jhoan\anaconda3\envs\mp_zed_new\lib\site-packages (from python-dateutil>=2.7.3->pandas) (1.16.0)
(mp_zed_new) C:\Users\jhoan>
```

- Instalación scikit-learn

Ejecutamos el comando en una terminal con el entorno virtual “scikit-learn”

```

C:\Users\jhoan> conda install scikit-learn
(pytho_10) C:\Users\jhoan> conda install scikit-learn
Collecting package metadata (current_repodata.json): done
Solving environment: done

==> WARNING: A newer version of conda exists. <--
  current version: 4.10.3
  latest version: 4.13.0

Please update conda by running

  $ conda update -n base -c defaults conda

## Package Plan ##

  environment location: C:\Users\jhoan\anaconda3\envs\python_10
  added / updated specs:
    - scikit-learn

The following packages will be downloaded:

  package                               build

```

- Instalación Mediapipe

Ejecutamos el comando en una terminal con el entorno virtual “pip install mediapipe”

```

C:\Users\jhoan> pip install mediapipe
(pytho_10) C:\Users\jhoan> pip install mediapipe
Collecting mediapipe
  Downloading mediapipe-0.8.10.1-cp310-cp310-win_amd64.whl (48.7 MB)
    ----- 48.7/48.7 MB eta 0:00:00
Collecting attrs==19.1.0
  Downloading attrs-19.1.0-py2.py3-none-any.whl (58 kB)
    ----- 58.8/58.8 kB eta 0:00:00
Collecting absl-py
  Downloading absl_py-1.2.0-py3-none-any.whl (123 kB)
    ----- 123.4/123.4 kB eta 0:00:00
Collecting opencv-contrib-python
  Downloading opencv_contrib_python-4.6.0.66-cp36-ab13-win_amd64.whl (42.5 MB)
    ----- 42.5/42.5 MB eta 0:00:00
Collecting matplotlib
  Downloading matplotlib-3.5.2-cp310-cp310-win_amd64.whl (7.2 MB)
    ----- 7.2/7.2 MB eta 0:00:00
Collecting protobuf<4, >=3.11
  Downloading protobuf-3.20.1-cp310-cp310-win_amd64.whl (903 kB)
    ----- 903.8/903.8 kB eta 0:00:00
Collecting numpy
  Downloading numpy-1.23.1-cp310-cp310-win_amd64.whl (14.6 MB)
    ----- 14.6/14.6 MB eta 0:00:00

```

Anexo B: Verificación de librerías instaladas

Con el comando “pip freeze”, se observa las librerías instaladas para ser usadas dentro del entorno virtual de anaconda

```

C:\Users\jhoan> pip freeze
(mp_zed) C:\Users\jhoan> pip freeze
absl-py==1.0.0
altgraph==0.17.2
attrs==21.4.0
auto-py-to-exe==2.19.0
bottle==0.12.19
bottle-websocket==0.2.9
cachetools==5.1.0
certifi==2021.10.8
cffi==1.15.0
cycler==0.11.0
eel==0.12.4
fonttools==4.32.0
future==0.18.2
gevent==21.12.0
gevent-websocket==0.10.1
greenlet==1.1.2
importlib-metadata==4.11.3
imutils==0.5.4
kiwisolver==1.4.2
matplotlib==3.5.1
mediapipe==0.8.6.2
numpy==1.21.6
opencv-contrib-python==4.5.2.54
packaging==21.3
pandas==1.3.5
pefile==2021.9.3
Pillow==9.1.0
protobuf==3.20.0
py2exe==0.11.1.0
pyparser==2.21
pyinstaller==5.1
pyinstaller-hooks-contrib==2022.5
pyparsing==3.0.8
python-dateutil==2.8.2
pytz==2022.1
pywin32-ctypes==0.2.0
six==1.16.0
typing_extensions==4.1.1
whichcraft==0.6.1
wincertstore==0.2
zipp==3.8.0
zope.event==4.5.0
zope.interface==5.4.0

```



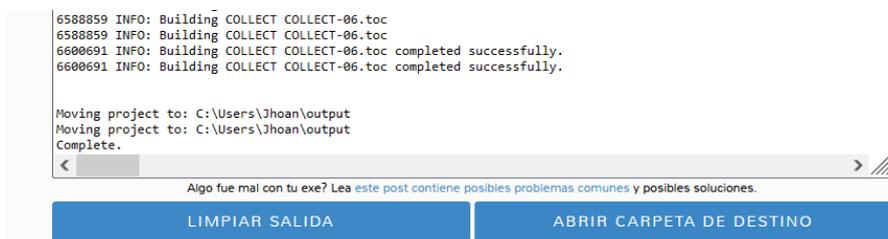

- Convertir py a exe

Para convertir py a exe, hacemos clic en “CONVERTIR .PY A .EXE”



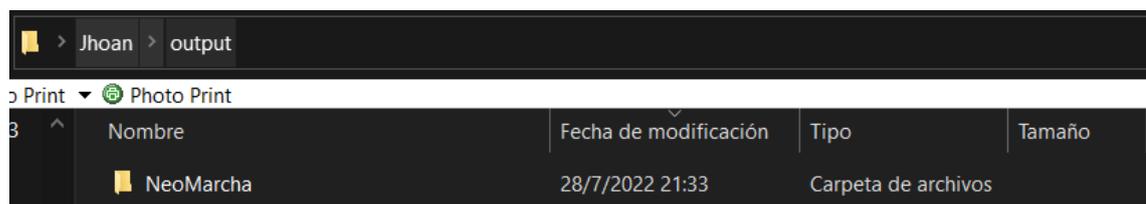
- Programa generado

Tendremos listo el ejecutable



- Convertir py a exe

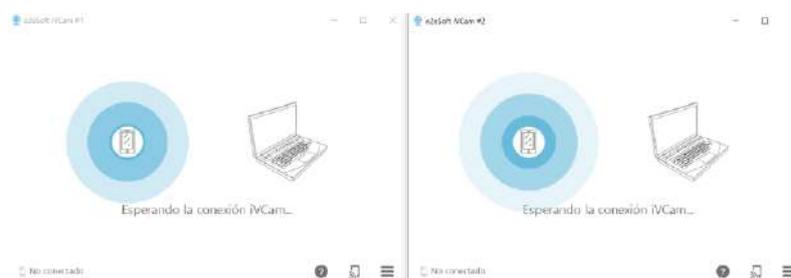
Dentro de la nueva carpeta creada se generará el programa ejecutable y los archivos necesarios





Anexo E: Configuración cámaras con iVCam

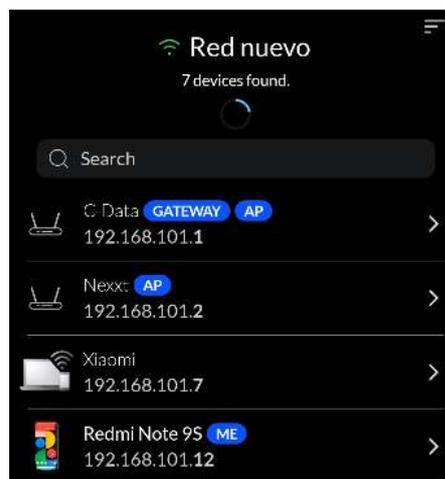
- Para conectar los dispositivos móviles deben estar en la misma red WLAN
- Abrimos el programa iVCam dos veces para los dos dispositivos



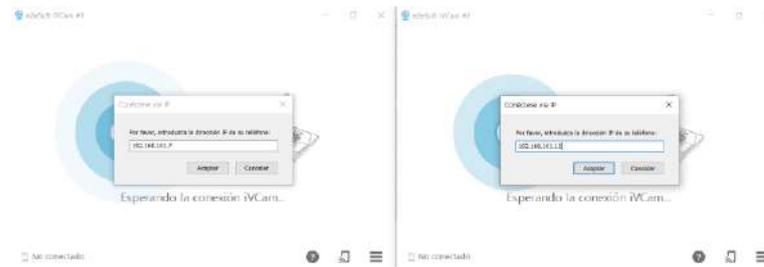
- Hacemos clic en el botón “Conectar”



- En los dispositivos buscamos las IP con alguna app para ver direcciones IP, en este caso se usó “WiFiman”



- Una vez identificadas las direcciones IP, abrimos la aplicación iVCam en los dispositivos móviles, colocamos en las ventanas de iVCam y damos clic en aceptar



- El dispositivo se conectará mostrando en pantalla el video captado



- Si es la primera vez se debe configurar, presionamos en el botón ajustes y seleccionamos los parámetros como se muestra a continuación y presionamos aceptar, si es necesario presionar nuevamente en conectar. Si se usan los mismos dispositivos móviles, la configuración se queda guardada.

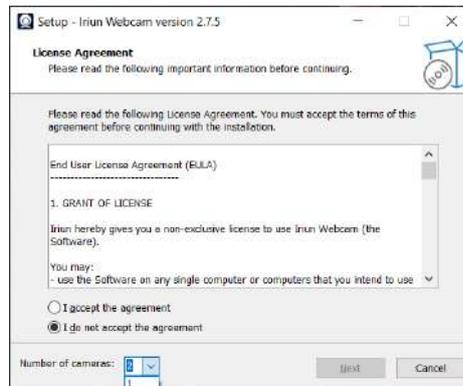


Anexo F: Manual de uso del programa

1. Conexión de cámaras

1.1 Descargar iriun en el computador y en los dispositivos móviles, desde el siguiente enlace:
<https://iriun.com/>

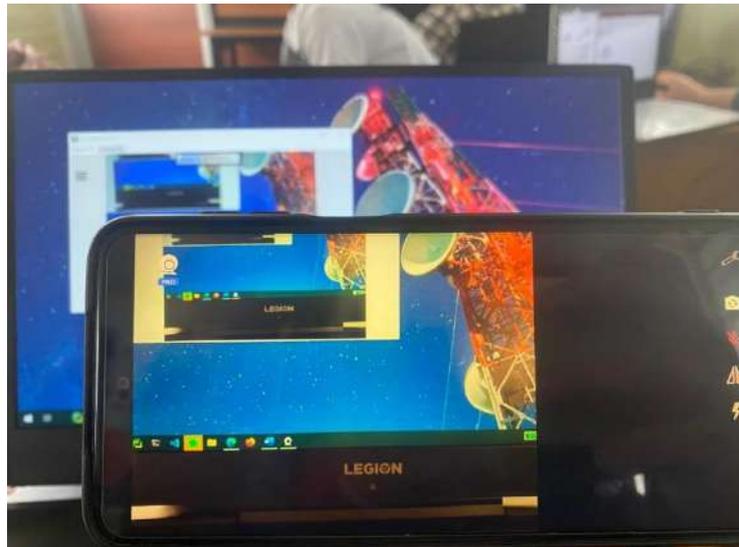
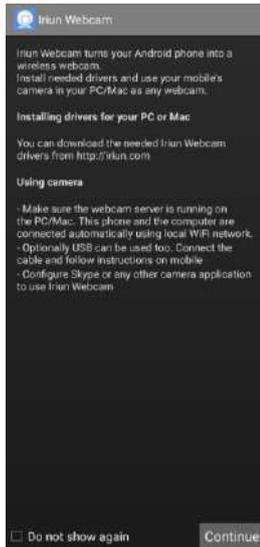
1.2 En la “*Number of cameras*” seleccionamos el número de cámaras que necesita instalar.



1.3 Para realizar la conexión se debe abrir la aplicación “iriun” en el computador y en los dispositivos móviles.



1.4 Para conectar las cámaras, se debe hacer clic en el botón “Continuar” y se conectara automáticamente las cámaras de los dispositivos móviles como webcams

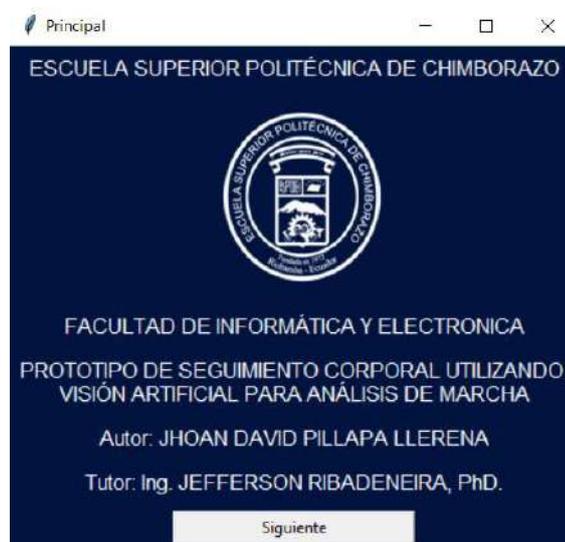


2. Manejo del programa

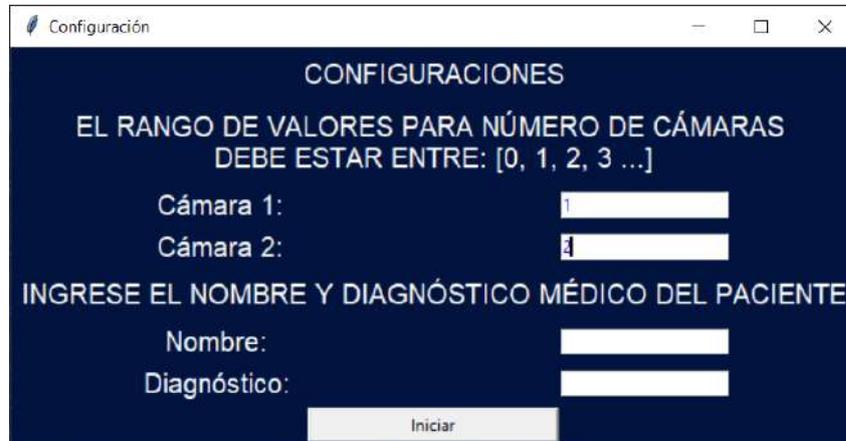
- 2.1. Para comenzar a usar el programa, se debe buscar y ejecutar el programa “NeoMarcha.exe”, que se encuentra en la carpeta “NeoMarcha”



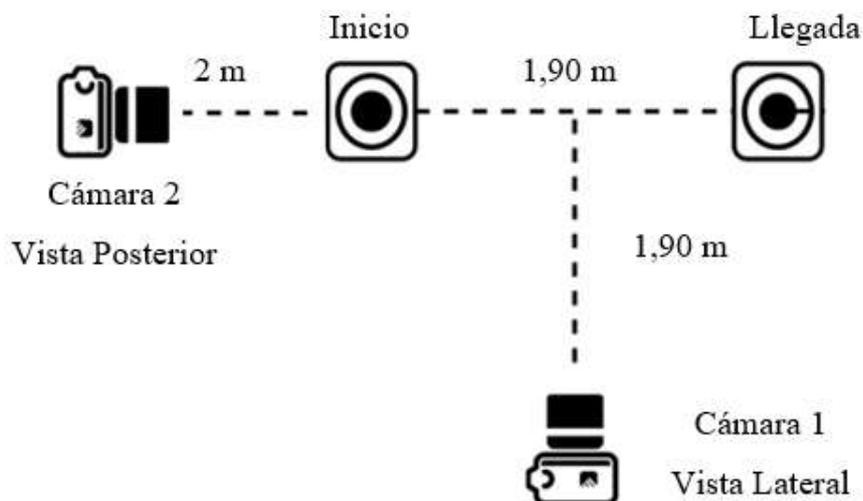
- 2.2. Para comenzar a usar se debe hacer clic en “Siguiente”



- 2.3 Se abrirá una segunda ventana denominada “Configuración” en la que se debe seleccionar el número correspondiente a la cámara que se tenga instalado en el ordenador estos valores pueden ser 0, 1, 2, etc. Después, se debe ingresar el nombre del paciente y diagnóstico que presente el paciente. Para iniciar con el análisis de marcha se debe hacer clic en “Iniciar”.
- Se recomienda utilizar la “cámara 1” como cámara lateral, y la “cámara 2” como cámara posterior.



- 2.4 Se abrirá dos ventanas en las que se visualiza el video captado de las cámaras, las ventanas muestran la etapa de calibración, en la que es necesario ubicar las cámaras en trípodes y ubicarla como se indica en el escenario.

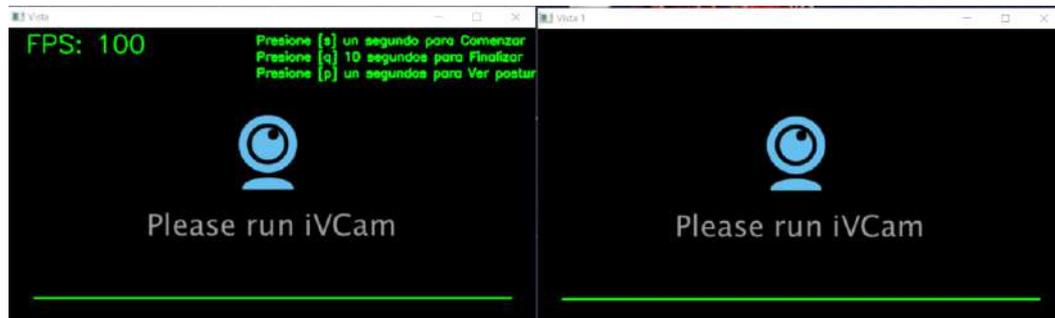


- 2.5 El escenario se ubicará de la siguiente forma

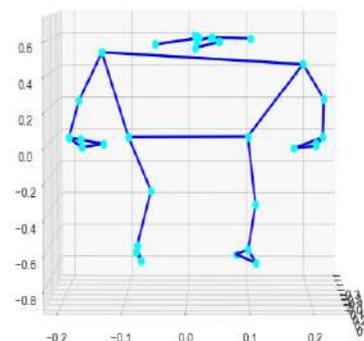


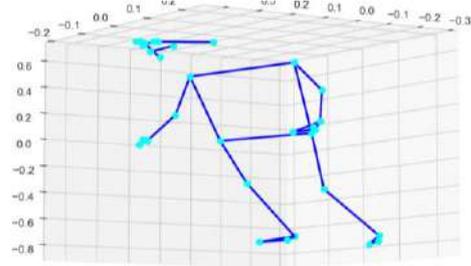
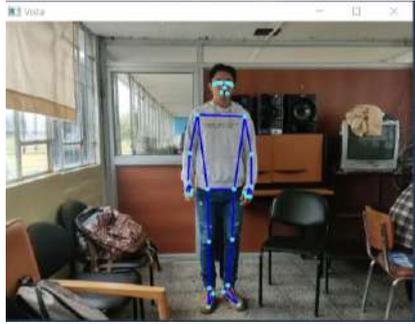
2.6 En la parte superior izquierda se muestra los fotogramas por segundo a los que se está ejecutando el programa, en la parte superior derecha se muestran las indicaciones de uso:

- Se debe presionar “s” por un segundo para comenzar con el análisis de marcha.
- Se debe presionar “q” por 10 segundos para finalizar y cerrar el programa.
- Para estimación de postura se debe presionar “p”



2.3 Para realizar la estimación de postura tridimensional se debe presionar la letra “p”. El sistema capturar a persona y realizara la interpretación de los resultados.





2.4 La persona se debe ubicar en el cono de la izquierda, y el operador debe presionar la letra “s” para comenzar con la esqueletización del cuerpo, para que el paciente comience con la marcha debe esperar 5 segundos y comenzar a caminar. Para finalizar el paciente debe llegar al siguiente cono y que los datos se guarden se debe presionar “s”. Si no quiere guardar los datos, se debe presionar “q”.



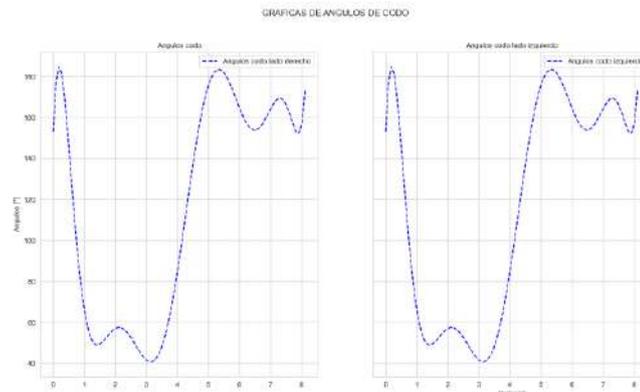
2.5 En la siguiente ventana para que los operadores realicen el ciclo de marcha, se debe esperar 5 segundos y comenzar, se indica con un mensaje de alerta en pantalla para comenzar la marcha.

2.6 El archivo generado es una matriz de datos de la marcha en formato csv.

Tiempos	Nombre	Fecha	Diagnostico	Angulos codo derecho	Angulos codo izquierdo	Angulos rodilla derecha	Angulos rodilla izquierda	Angulos tobillo derecho	Angulos tobillo izquierdo	Angulos cadera derecha cam2	Angulos cadera izquierda cam2	
0	0.000	Santi	2022-09-27	deficit cadera	122.0	114.0	160.0	126.0	114.0	108.0	165.0	128.0
1	0.216	Santi	2022-09-27	deficit cadera	138.0	140.0	161.0	131.0	127.0	115.0	168.0	161.0
2	0.436	Santi	2022-09-27	deficit cadera	133.0	108.0	158.0	131.0	134.0	143.0	185.0	146.0
3	0.678	Santi	2022-09-27	deficit cadera	128.0	102.0	162.0	128.0	121.0	135.0	155.0	141.0
4	0.921	Santi	2022-09-27	deficit cadera	125.0	122.0	150.0	119.0	123.0	126.0	155.0	138.0

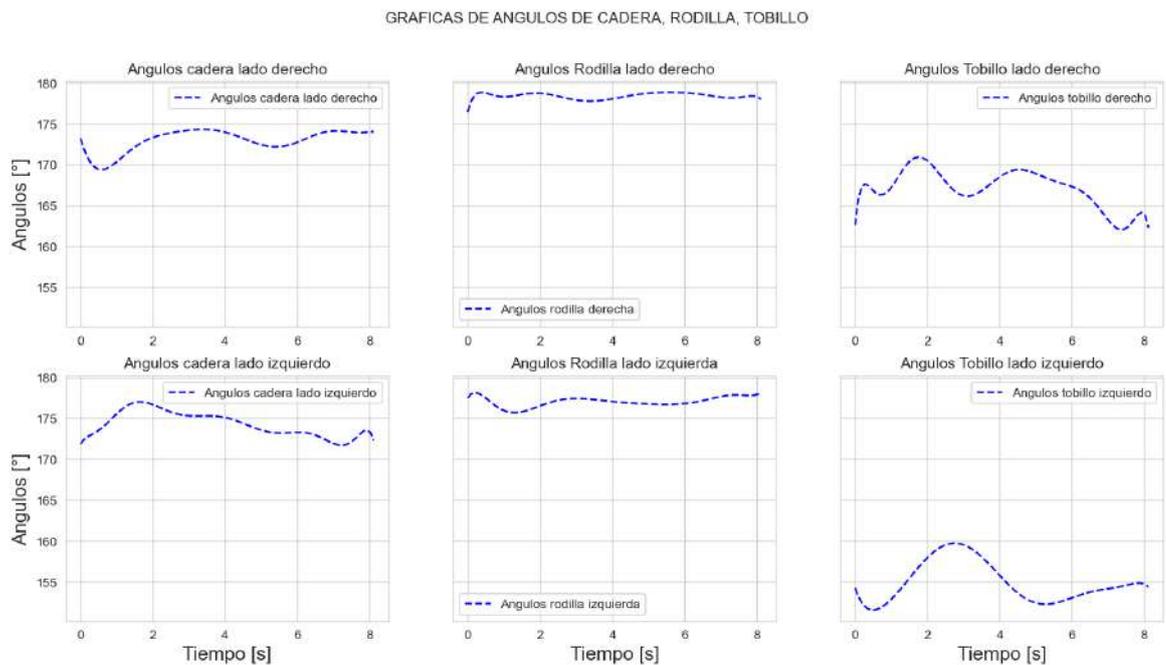
- Figura 1

Muestra la Grafica de los ángulos del codo con respecto al tiempo de marcha



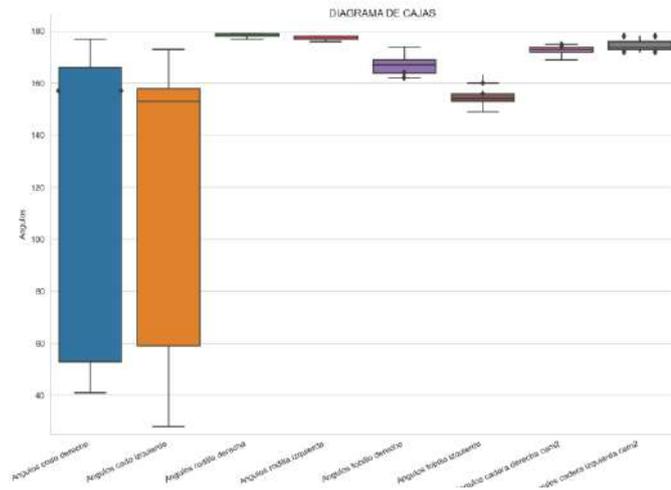
- Figura 2

Se muestra ángulos de cadera, rodilla y tobillo del paciente con respecto al tiempo de marcha.



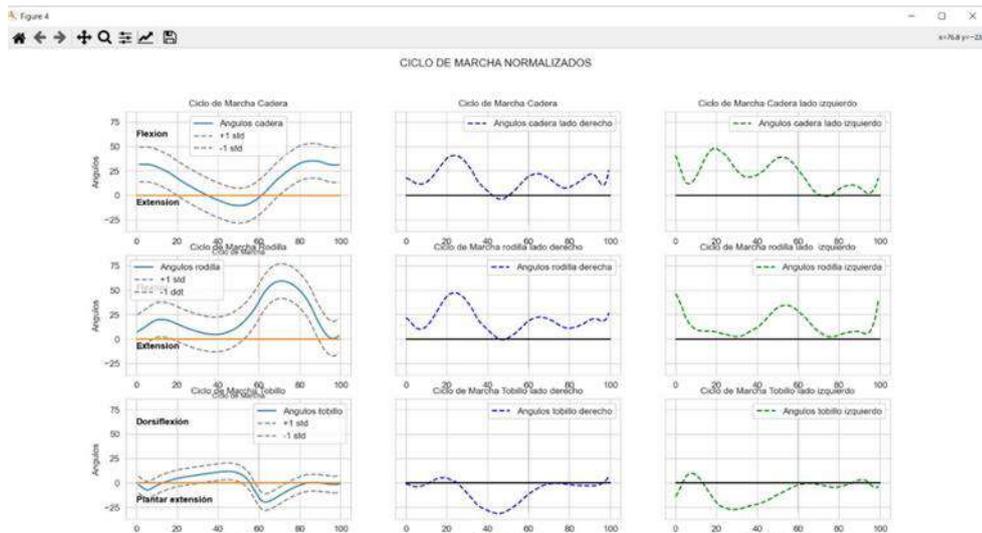
- Figura 3

Se muestra el diagrama de cajas correspondiente a los ángulos obtenidos en la marcha



• Figura 4

Se muestra el ciclo de marcha de ángulos de cadera, rodillas, tobillos normalizados.



2.7 En la siguiente ventana se debe realizar las observaciones realizadas. El archivo generado es un archivo de texto. Para guardar los resultados se debe hacer clic en “Finalizar”.

Anexo I: Encuesta de Aplicabilidad

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES



Encuesta de aplicabilidad sobre el prototipo de seguimiento corporal para el análisis de marcha

Objetivo: Obtener datos para determinar la necesidad

Instrucción: Se solicita su entera colaboración y sinceridad en cada una de las respuestas. Marque con una X la respuesta según su criterio dentro de los paréntesis

1. Creo que la aplicación es útil como herramienta de soporte para el análisis de marcha

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

2. Pienso que la aplicación grafica es intuitiva y amigable con el usuario.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

3. Pienso que me gustaría seguir experimentando distintos escenarios para la aplicación.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

4. Pienso que las diversas funciones para el análisis de marcha están bien diseñadas.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

5. Necesito recibir información previa para el uso de la aplicación.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

6. Creo que los datos obtenidos por la aplicación muestran características relevantes del paciente.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

7. Creo que la mayoría de los usuarios aprendería a usar la aplicación rápidamente.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

8. El uso de la aplicación me ha ayudado a realizar un primer diagnóstico del paciente.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

9. Siento que soy capaz de realizar una interpretación de los resultados obtenidos.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()
- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

10. En general, la experiencia de uso del programa ha sido satisfactoria.

- Muy de acuerdo..... ()
- De acuerdo..... ()

- Indiferente..... ()
- En desacuerdo..... ()
- Muy en desacuerdo... ()

Anexo J: Capacitación del sistema de análisis de marcha y evaluación de la encuesta de aplicabilidad a fisioterapeutas de la unidad Educativa Especializada "Carlos Garbay"



Anexo K: Donación del sistema de análisis de marcha y demostración en la Unidad Educativa Especializada "Carlos Garbay"



Anexo L: Muestra de valores obtenido y guardados como *DataFrame*

Columna	Tiempos	Nombre	Fecha	Ángulos codo derecho	Ángulos codo izquierdo	Ángulos rodilla derecha	Ángulos rodilla izquierda	Ángulos tobillo derecho	Ángulos tobillo izquierdo	Ángulos cadera derecha	Ángulos cadera izquierda	Ángulos codo derecho cam2
0	0	Jhoan	2022-09-27	158	158	174	157	127	101	1740	174	160
1	1,55E+16	Jhoan	2022-09-27	158	158	174	155	128	1020	174	173	160
2	3,38E+15	Jhoan	2022-09-27	157	157	174	155	128	101	174	173	160
3	5,05E+15	Jhoan	2022-09-27	160	155	174	156	128	101	174	174	157
4	6,29E+15	Jhoan	2022-09-27	160	154	172	156	126	102	176	174	1590
5	8,15E+15	Jhoan	2022-09-27	160	154	173	156	122	101	174	174	159
6	1,00E+16	Jhoan	2022-09-27	157	157	174	159	1240	101	175	176	165
7	1,16E+16	Jhoan	2022-09-27	154	153	173	176	122	111	175	168	166
8	1335	Jhoan	2022-09-27	157	154	161	164	104	116	179	174	165
9	1,53E+16	Jhoan	2022-09-27	154	154	144	153	106	130	173	179	173
10	1,72E+16	Jhoan	2022-09-27	1550	156	169	157	116	930	161	177	177
11	1955	Jhoan	2022-09-27	152	162	167	163	116	930	146	167	162
12	2,13E+16	Jhoan	2022-09-27	156	169	177	167	118	870	156	157	149
13	2,31E+16	Jhoan	2022-09-27	154	168	165	149	100	102	158	160	161
14	2481	Jhoan	2022-09-27	154	161	167	140	970	940	163	179	147
15	2,61E+16	Jhoan	2022-09-27	159	159	167	178	920	118	168	175	149
16	2816	Jhoan	2022-09-27	155	157	168	171	980	109	172	151	157

17	3,09E+16	Jhoan	2022-09-27	141	135	152	1750	840	113	176	157	153
18	3346	Jhoan	2022-09-27	161	151	147	175	920	107	175	161	172
19	3,54E+16	Jhoan	2022-09-27	150	153	124	163	114	107	174	171	154
20	3,75E+16	Jhoan	2022-09-27	156	156	169	161	131	106	172	168	143
21	3,93E+16	Jhoan	2022-09-27	159	159	178	171	156	990	172	176	132
22	4,11E+16	Jhoan	2022-09-27	167	168	178	160	132	870	171	167	133
23	4,27E+16	Jhoan	2022-09-27	161	157	174	154	119	790	179	176	144
24	4395	Jhoan	2022-09-27	156	166	168	154	111	970	168	179	139
25	4,55E+15	Jhoan	2022-09-27	144	143	1640	160	105	109	173	170	153
26	4,74E+15	Jhoan	2022-09-27	138	136	158	154	100	109	170	172	153
27	4917	Jhoan	2022-09-27	127	130	169	156	109	113	176	169	143
28	5,06E+15	Jhoan	2022-09-27	119	127	164	155	108	104	173	169	146