



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE BIOMEDICINA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN PODOSCOPIO PARA EL
GIIB**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Biomédico

**AUTORES: JUAN DIEGO GUANUCHI CUMBE
JUAN PATRICIO RAMÍREZ ROBALINO**

TUTOR: ING. PATRICIO FERNANDO URGILÉS ORTIZ, PHD.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Juan Diego Guanuchi Cumbe con documento de identificación N° 0106204944 y Juan Patricio Ramírez Robalino con documento de identificación N° 0706160470; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 1 de octubre del 2023

Atentamente,



Juan Diego Guanuchi Cumbe

0106204944



Juan Patricio Ramírez Robalino

0706160470

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Juan Diego Guanuchi Cumbe con documento de identificación N° 0106204944 y Juan Patricio Ramírez Robalino con documento de identificación N° 0706160470, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño y construcción del prototipo de un podoscopio para el GIIB”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biomédico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 1 de octubre del 2023

Atentamente,



Juan Diego Guanuchi Cumbe

0106204944



Juan Patricio Ramírez Robalino

0706160470

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Patricio Fernando Urgilés Ortiz con documento de identificación N° 0102137593, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN PODOSCOPIO PARA EL GIIB, realizado por Juan Diego Guanuchi Cumbe con documento de identificación N° 0106204944 y por Juan Patricio Ramírez Robalino con documento de identificación N° 0706160470, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 1 de octubre del 2023

Atentamente,



Ing. Patricio Fernando Urgilés Ortiz, PhD.

0102137593

Dedicatoria

Juan Diego Guanuchi Cumbe

Quiero dedicar unas palabras a mi querido Padre, Enrique Leonel Guanuchi, Gracias por estar presente en cada momento, Gracias por ser mi fuente de inspiración y hacer que siempre me supere cada día, su apoyo ha sido fundamental en mi proceso de llegar a ser quien soy y seré, con mis palabras no puedo expresarme por tenerme constantemente en consideración de mi presente y futuro, estoy tan agradecido por eso, por hacer lo posible en mi formación, a ti querida madre Fabiola Cumbe, su apoyo ha sido fundamental en mi proceso, Gracias por estar presente apoyándome de principio a fin, por ser mi fortaleza y estar pendiente de mí, sin usted nada de esto hubiera sido posible.

Quiero dar unas palabras en especial a mi ángel, que desde el cielo me esta viendo triunfar, Rebeca, con estas palabras te dedico a ti gran parte de mi vida, eres y fuiste mi segunda madre, Gracias por cuidarme, dándome alegría y ser mi pilar de vida, aunque ya no estás en mi vida físicamente, se que estás y estarás en mis recuerdos y corazón por siempre, en memoria tuya te dedico esta meta.

Finalmente unas palabras a mi hermano por estar constantemente cada noche hablando de nuestra tesis, y procesos que nos llevaran muy lejos. Gracias a mis amigos y personas cercanas que han estado pendientes de mí apoyándome de una u otra forma.

Juan Patricio Ramírez Robalino

Dedico este triunfo a mis padres Juan Patricio y Marjorie Lizteh, pues ellos son mi principal apoyo para emprender en una carrera universitaria y de quienes mayor conformort recibí en momentos de dificultad, sus enseñanzas brindadas tanto en la ética y la moral, como sus buenos consejos y su amor hacia mi y mis hermanos.

A mis abuelitos Bolivar, Luz y Rosa, por tener fe en que triunfare de buena manera en mi vida estudiantil como en la profesional, por sus sabios consejos, por las alegrías y amor que muestran diariamente hacia mi, mis hermanos y mis primos.

A mis Hermanos Lizeth, Patricio Miguel y Sebastián por tenerme un amor incondicional, por ser un ejemplo para mí, por brindarme su apoyo siempre que lo necesite y por cuidar de mí en todo momento.

A mis tíos y a mis primos por su fe y sus buenos deseos a la distancia.

A mi amigo Diego con quien pude realizar este proyecto técnico, a mis amigos que hice en la universidad y a todos mis amigos de Piñas, quienes a su manera me han apoyado y siguen apoyando.

Agradecimientos

Juan Diego Guanuchi Cumbe

Agradezco principalmente a mis padres por arduo apoyo, gracias a ustedes he logrado muchas cosas, estoy satisfecho con todo el apoyo y compromiso que tienen conmigo.

Agradezco profundamente a mi compañero Patricio Ramírez, y no solo eso, un amigo para mi, gracias por culminar esta etapa conmigo, agradezco a mis amigos y a la gente que me apoyó desde el principio.

Agradezco especialmente a la Ingeniera Ana Cecilia Villa, por haber dado de su tiempo en ayuda del anteproyecto.

También agradezco a mi tutor Ingeniero Fernando Urgiles Ortiz, por darnos la oportunidad de realizar el proyecto del grupo de investigación de Ingeniería Biomédica, que se realizó con éxito.

Juan Patricio Ramírez Robalino

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este momento y poder compartirlo con mis seres queridos

Agradezco a mi familia por todo el apoyo que me han brindado y seguirán haciéndolo, pues gracias a ellos es que pude seguir estudiando y culminar mi carrera.

Agradezco a mi compañero y amigo Diego con quien he tenido una gran amistad y logramos realizar este proyecto.

Agradezco a la Ingeniera Ana Cecilia Villa, por su tiempo en ayuda para avanzar en el anteproyecto.

Al tutor de este proyecto al Ingeniero Fernando Urgiles, por tener fe en nosotros para realizar este proyecto.

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	VI
Resumen	XV
Abstract	XVI
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Importancia y alcances	3
3. Delimitación	4
3.0.1. Espacial o geográfica	4
3.0.2. Temporal	4
4. Justificación	4
4.1. Justificación Social	4
4.2. Justificación Científica	4
5. Objetivos	4
5.1. Objetivo General	4
5.2. Objetivos Específicos	5
6. Marco Teórico	5
6.1. Bipodal	5
6.2. Postura	5
6.3. Presión plantar	6

6.4. Bóveda plantar	6
6.5. Deformación	6
6.6. Pie plano	6
6.7. Pie cavo	7
6.8. Diabetes	7
6.9. Declaración de Helsinki	7
6.10. Reflexión de Luz	9
6.11. Python	9
6.12. Visual Studio	9
6.13. TinkerCAD	10
6.14. Procesamiento de Imágenes	10
6.15. Escala de Grises	10
6.16. Binarización	12
6.17. Inversión de colores	12
6.18. Centro de masas	13
6.19. Mapa de calor	14
6.20. Podoscopio	15
7. Marco metodológico	16
7.1. Materiales	16
7.2. Revisión del estado del arte	17
7.3. Procesamiento de imágenes	24
7.4. Creación del Software en Python	29
7.5. Comparativa entre dispositivos	30
7.5.1. Software	31
7.5.2. Hardware	33
7.6. Reajuste de hardware y evaluación de desempeño del software	34
7.6.1. Hardware	34
7.6.2. Software	35
7.7. Declaración de Helsinki	38
7.7.1. Protección de los Participantes.	38
7.7.2. Consentimiento Informado	38
7.7.3. Derechos del Paciente	39
7.7.4. Protocolo	39
7.8. Prueba Final del Dispositivo con Todas sus Funciones	46

8. Resultados	47
8.1. Hardware	47
8.2. Software	48
8.2.1. Interfaz	48
8.2.2. Filtros	49
9. Cronograma	54
10. Presupuesto	56
10.1. Materiales	56
10.2. Talento Humano	57
10.3. Análisis Tir y Van	57
11. Conclusiones	58
12. Recomendaciones	59
13. Trabajos Futuros	59
Referencias	64
ANEXOS	65

Lista de Tablas

4. Cronograma de actividades. 55
5. Recursos para el desarrollo del proyecto 56
6. Talento Humanos 57

Lista de Figuras

1.	Imagen escala de gris	11
2.	Imagen binarizada	12
3.	Imagen con inversión de colores	13
4.	Imagen con el centro de masas	14
5.	Mapa de calor	15
6.	Metodología	18
7.	Diseño Preliminar	19
8.	Maqueta Preliminar	19
9.	Diseño Final	20
10.	Maqueta Final	21
11.	Inclinación del Espejo	22
12.	Podoscopio con leds	23
13.	Podoscopio con Pantalla	24
14.	Botón encendido.	25
15.	Botón de la Captura de imagen.	25
16.	Botón del filtro escala de Grises.	25
17.	Botón del filtro de binarización.	26
18.	Botón del filtro con colores invertidos.	26
19.	Botón del filtro aplicado el centro de masas.	27
20.	Botón del filtro aplicado el mapa de calor.	27
21.	Botón para la carga de imagen.	28
22.	Botón para guardar la imagen original.	28
23.	Botón para ir a la sección de procesamiento de imágenes.	28
24.	Botón de ayuda.	29
25.	Botón para cerrar/salir la aplicación.	29
26.	Interfaz Primera Fase.	31
27.	Interfaz Segunda Fase.	32
28.	Comparación de Podoscopios.	33
29.	Posicionamiento.	34
30.	Imagen con Distorsión.	35
31.	Imagen con Distorsión corregida con software pero con luz externa	36
32.	Distorsión Corregida con Software y sin luz externa.	37
33.	Luces Led	38

34.	Pie Plano.	46
35.	Pie Normal.	47
36.	Interfaz Probada.	48
37.	Captura de la imagen.	49
38.	Imagen Escala Gris.	50
39.	Imagen Binarizado.	51
40.	Imagen Centro de Masa.	52
41.	Imagen Colores Invertidos.	53
42.	Imagen Mapa de Calor.	54
43.	Registro de Participante	67
44.	Desinfección del Personal	68
45.	Desinfección del Equipo	69
46.	Se Prende el equipo	69
47.	Se Guarda La información del Paciente	70
48.	Se desinfecta al paciente	71
49.	Se coloca la manta sobre los pies del participante	71
50.	El paciente se posiciona encima del podoscopio	72
51.	Se captura la imagen	72
52.	Captura con Filtro Escala de Grises	73
53.	Captura con Filtro Binarizado	73
54.	Captura con Filtro Colores Invertidos	74
55.	Captura con Filtro Centro de Gravedad	74
56.	Captura con Filtro Mapa de Calor	75
57.	Especialista indicando en que pie ejerce más presión	75
58.	Se desinfecta después de cada uso	76
59.	Se limpia la zona de trabajo para el guardado del equipo	77
60.	Tríptico.	79
61.	Tríptico.	80

Resumen

El propósito fundamental de este proyecto es el desarrollo del podoscopio así, como el mejoramiento del mismo, tanto en hardware como en software, logrado mediante el análisis de huellas plantares capturadas por el dispositivo, este análisis implica la aplicación de varios filtros a las imágenes obtenidas. En esta fase del proyecto, se llevó a cabo el diseño de una estructura alternativa para el dispositivo con el objetivo de hacerlo más compacto, reduciendo sus dimensiones a 20 cm de alto, 46 cm de ancho y 66 cm de largo. Esta nueva configuración contrasta con la versión anterior que medía 50 cm de ancho, 1,30 m de largo y 45 cm de alto. Además, se realizó una actualización en la cámara del dispositivo, mejorando su resolución de 1280x720 píxeles a 1920x1080 píxeles. Se desarrolló un nuevo software desde cero para su funcionamiento, y se implementaron cambios en las luces utilizadas. Además, se incorporaron componentes como un microcomputador y una pantalla táctil en esta nueva fase del proyecto.

Palabras clave: Podoscopio, hardware, software, Filtros, Procesamiento de imágenes, micro-computador.

Abstract

The main purpose of this project is the development of the podoscope, as well as its enhancement, both in hardware and software, achieved through the analysis of footprints captured by the device. This analysis involves the application of various filters to the captured images. In this phase of the project, an alternative structure for the device was designed with the aim of making it more compact, reducing its dimensions to 20 cm in height, 46 cm in width, and 66 cm in length. This new configuration contrasts with the previous version, which measured 50 cm in width, 1.30 m in length, and 45 cm in height. Additionally, an upgrade was made to the device's camera, improving its resolution from 1280x720 pixels to 1920×1080 pixels. A new software was developed from scratch for its operation, and changes were implemented in the lights used. Furthermore, components such as a microcomputer and a touchscreen were incorporated in this new phase of the project.

Keywords: Refractory Brick, Angular Cutting, Cutting Discs, Conveyor Belt, Ventilation.

1. Introducción

El estudio de la huella plantar permite conocer sobre la morfología del pie, siendo considerada una de las formas más sencillas y no tan costosa que se tiene para el estudio de alteraciones en la marcha, este método estático nos permite tener alternativas a los métodos dinámicos para tratar soluciones de varios problemas los cuales puedan repercutir en un futuro. Diéguez, Sánchez, y López (2011).

Gracias al avance tecnológico se puede innovar en distintos campos ya sea creando o mejorando las técnicas y métodos de estudio, pues, actualmente existen diversas maneras de estudiar la huella plantar que van desde los más básico como observar a los más complejo utilizando algún software o dispositivo externo. Cifuentes, Cubillos, Hernández, Huérfano, y Guerrero (s.f.). El podoscopio puede ser una alternativa viable para ayudar en el estudio de la huella plantar, siendo una manera estática de análisis, además de ser una alternativa económica pero de resultados eficientes Márquez y Estudillo-Romero (s.f.), Hernández y cols. (2015a).

Gracias a estas huellas se pueden detectar varios problemas que presente el paciente, pues ciertos problemas son dados por la genética, pues pueden ser erados o adquiridos por el tiempo, como lo son pie plano o pie cavo, o el sobrepeso, por lo que es importante tener un estudio de la marcha en niños y evitar la mayoría de problemas en el futuro relacionados a la marcha. Nieto y cols. (2010).

2. Problema

2.1. Antecedentes

Conocer la distribución de presión plantar resulta útil, ayuda en la prevención y corrección de problemas en la postura permitiendo diagnosticar enfermedades plantares Comin, Pérez, Villarroya, Nerón, y Moros (2003), a partir de mediciones de presión se puede conocer si el paciente padece alguna enfermedad como neuropatía diabética, metatarsalgia o alteraciones fisiológicas como pie plano o cavo, también nos permite tener una evaluación funcional del pie prequirúrgica o posquirúrgica, a su vez, realizar una evaluación de plantillas ortopédicas, entre otros Comin y cols. (2003). La distribución de presión se puede medir tanto de forma estática como en marcha, pero para tener este último suele tener muchas variaciones y distintos resultados, por lo que, se suele realizar estas mediciones en estado estático en bipedación

Comin y cols. (2003). En España el Departamento de Ciencias Morfológicas y Cirugía de la Universidad de Alcalá de Henares, analizó los centro de presión y su localización en la huella plantar, esto se le realizó a 34 sujetos de ambos sexos con edades de 18 a 20 años, para este estudio se utilizó una plataforma de fuerzas, se concluyó que las fuerzas antero-posteriores son mayores en regiones externas de la huella, las fuerzas medio laterales en la parte externa del talos y en el istmo y las fuerzas verticales en la posición externa del antepié y también en el istmo A. San Gil Sorbet (2018), por otro lado, en Colombia se realizó el mismo estudio en pacientes normales y diabéticos tipo I y II en el cual se concluye que no existe mucha diferencia entre pacientes con diabetes por lo que se recomienda realizar un estudio con mayor profundidad Vega y cols. (1998). Las mediciones tienen varios factores los cuales influyen en la distribución de presión en la huella plantar como puede ser el peso, la edad, el sexo o fisiopatologías Bennetti y Duplonk (1993). Existen varios dispositivos que se han creado para medir la distribución de presión plantar, algunos son:

- Plantillas de presión: plantillas que van dentro del zapato y miden la presión ejercida por el pie en diferentes puntos. Pueden ayudar a detectar alteraciones en la distribución de la presión. Pueden ser incómodas para algunas personas y no siempre se ajustan adecuadamente al zapato, lo que afecta la precisión de las mediciones. Assucena, Silvestre, Ruiz, y de Moya (2005).
- Escáneres de pie: utilizan tecnología láser para escanear el pie y crear una imagen tridimensional del mismo. Estas imágenes ayudan a detectar alteraciones en la forma de pie. Son costosos y no siempre están disponibles en todos los centros médicos, en algunos casos pueden ser incómodos para algunas personas y no siempre son precisos en la detección de alteraciones en la altura del arco. Pilco (2021).
- Podómetros: miden el número de pasos dados por una persona y la distancia recorrida. Si se utiliza junto con un registro de síntomas experimentados por el paciente, puede ayudar a detectar alteraciones en la marcha. Sin embargo, no miden directamente la altura del arco del pie, se utilizan para evaluar la marcha, pueden ser imprecisos si no se utilizan correctamente o si el paciente no registra correctamente los síntomas experimentados. Miragall, Domínguez, Cebolla, y Baños (2015).
- Podoscopio: se utiliza específicamente para el estudio de afecciones de la planta del pie. Puede ayudar a fabricar o adaptar órtesis de plantillas plantares y conocer el avance terapéutico. El dispositivo puede no ser utilizado por pacientes con problemas

de movilidad y al contar solo con la imagen de la huella plantar reflejada en el vidrio puede no tener una buena precisión debido a la luz aplicada. Gorgues (2008).

Los dispositivos cumplen con su función, pero tienen algunos puntos que se podría mejorar, el podoscopio MV 7000 intenta cubrir estos puntos, este dispositivo se creó en el Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica (GIIB) dentro de la Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca con el objetivo de tratar fisiopatologías de la planta del pie utilizando un dispositivo estático de captura de imágenes y mediante un software realizado en Matlab que procese y arroje como resultado si la persona tiene pie normal, plano o cavo. Todo el sistema fue proporcionado a la carrera de Pedagogía de la actividad física y del deporte para su uso durante las clases por Carreño y Cabrera (2014), el prototipo requiere actualización de software y hardware debido a los avances de la tecnología, se decidió modificar y mejorar el dispositivo en 2 fases, siendo la primera fase en el proyecto de GIIB el desarrollo de un nuevo software actualizado y con nuevas funciones trabajando en un código abierto por Andrade y Peñafiel (2023), en este proyecto se iniciaría la fase dos en la cual se mejorarán algunas funciones del software y se diseñara un nuevo prototipo de podoscopio el cual se basará en el podoscopio MV 7000 compactando el diseño original, cambiando algunos materiales y agregando nuevos complementos con la finalidad de volverlo independiente.

2.2. Importancia y alcances

En nuestro entorno, se reconoce la necesidad de desarrollar un dispositivo especializado para evaluar la distribución de las presiones plantares, por eso, se elaborará este proyecto que tiene como base en el desarrollo de una plataforma con propiedades ópticas y mecánicas. La base de la plataforma consiste en un material transparente de 8 mm de espesor, fabricado con vidrio templado, elegido debido a su robustez. Esta base es sostenida por una estructura de ángulo laminado, diseñada con un enfoque en la seguridad y la resistencia a esfuerzos constantes sin sufrir deformaciones o fallas. Este dispositivo será una valiosa ayuda, debido a que, se puede descomponer en dos aplicaciones autónomas: una herramienta médica o un instrumento de procesamiento de imágenes como es este caso; también para los profesionales de la salud brindando un mejor análisis de las imágenes, permitiendo elaborar un tratamiento para los pacientes que presentan patrones de marcha alterados debido a fisiopatologías. La herramienta se propone llevar a cabo análisis estático dado que, la huella plantar se forma de manera completa de manera estática.

3. Delimitación

3.0.1. Espacial o geográfica

Los datos recopilados y analizados serán procesados por la Universidad Politécnica Salesiana y el Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica (GIIB) en los laboratorios de la universidad.

3.0.2. Temporal

El Proyecto Técnico se efectuara en 240 horas las cuales estarán distribuidas 5 meses.

4. Justificación

4.1. Justificación Social

Las herramientas que ayuden a la evaluación de presión plantar ofrecen información relevante para procesos de diagnóstico en el ámbito deportivo y clínico, debido a que cambios en la distribución de presión plantar pueden causar problemas de postura o úlceras. La relevancia de este proyecto radica en el hecho de que se brindará una herramienta para evaluar presiones plantares, como la etapa inicial para el desarrollo de tecnología para el apoyo al diagnóstico de afecciones, que el Grupo GIIB ha propuesto para que, a través de la investigación aplicada se pueda mejorar la calidad de vida de las personas.

4.2. Justificación Científica

Este prototipo aportará al proyecto de investigación el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica GIIB que tiene como objetivo desarrollar un equipo para medición de presión plantar con tecnología diseñada e implementada en nuestro país. Este enfoque busca ofrecer a las instituciones prestadoras de servicios de salud tecnología accesible con plataformas de software libre y con respaldo profesional de ingeniería biomédica local.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

- Diseñar y construir el prototipo de un podoscopio para el GIIB.

5.2. Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte sobre el principio de funcionamiento de los podoscopios y la tecnología para su implementación.
- Diseñar el prototipo de un podoscopio que permita la adquisición de imágenes para la evaluación de presión plantar e incluya una interfaz de usuario.
- Proponer un protocolo para realizar las pruebas técnicas para la evaluación del prototipo del podoscopio con base a los lineamientos de la Declaración de Helsinki de la AMM.
- Realizar pruebas con base al protocolo propuesto.

6. Marco Teórico

6.1. Bipodal

La postura erguida, con apoyo en dos pies, es el resultado de una compleja interacción de procesos que trabajan en conjunto para mantener el equilibrio y la armonía del cuerpo humano. Esta postura óptima refleja la estructura general del cuerpo y su adecuado equilibrio mecánico. Cualquier desviación de esta postura ideal puede ofrecer a los profesionales una ventana objetiva para identificar áreas del cuerpo con posibles limitaciones en su funcionamiento mecánico. El análisis de la postura también permite observar y monitorear los cambios posturales y los ajustes corporales que resultan de intervenciones y entrenamiento físico. La detección de asimetrías en los músculos que sostienen la postura erguida puede indicar un desequilibrio postural. Este desequilibrio puede ser observado, medido e intervenido de manera precisa y objetiva mediante un enfoque biomecánico. Pericé (1996) .

6.2. Postura

La actitud se define como la forma en que una persona se comporta en un momento o situación determinada. En física, este término se refiere a la disposición de las extremidades, el torso y las articulaciones del cuerpo. Debido a la flexibilidad del cuerpo humano se pueden adoptar diferentes posiciones. Sin embargo, algunos se consideran más deseables o beneficiosos que otros. Una buena postura se caracteriza por un cuerpo recto y la espalda recta. Esta postura no sólo favorece una adecuada oxigenación, sino que también ayuda a prevenir problemas de espalda y musculares. Además de los beneficios físicos, una buena postura

también puede tener un efecto positivo en la salud mental y emocional. Las investigaciones muestran que mantener una postura erguida puede aumentar la confianza en uno mismo, reducir el estrés y mejorar el estado de ánimo. Pérez (s.f.).

6.3. Presión plantar

La presión plantar hace referencia a la fuerza ejercida en la planta del pie. En los bebés, esta presión puede activar reflejos primarios que favorecen su supervivencia. En adultos, la presión plantar puede medirse en diversas áreas del pie, como el retropié, el medio pie y el antepié. Los valores de presión varían según la región medida, pudiendo alcanzar hasta 1.240 kPa para el pico de presión en el antepié. González López y Acero Montaña (2022).

6.4. Bóveda plantar

Este es el arco anatómico natural que se encuentra en la región interna del pie, abarcando desde el talón hasta la parte frontal. Juega un papel crucial en la biomecánica del pie, ya que contribuye a la capacidad de absorber impactos, distribuir el peso de manera equilibrada y permitir un movimiento adecuado durante la marcha y actividades físicas. Este arco consta de tres componentes principales: arco longitudinal interno, externo y arco transversal. Camarena y Villegas (2010).

6.5. Deformación

Las anomalías anatómicas o deformaciones se definen como alteraciones en la configuración o disposición normal de un órgano, una parte de este, o una estructura anatómica. Estas deformidades pueden ser causadas por factores mecánicos externos que actúan de forma prolongada después del período de formación embrionaria, es decir, después del nacimiento. En muchos casos, estas irregularidades pueden ser corregidas mediante intervenciones ortopédicas. Un ejemplo típico de esto es la plagiocefalia, una condición en la que la cabeza del bebé presenta una forma asimétrica debido a una presión constante sobre una zona específica durante sus primeros meses de vida. Launay (2013).

6.6. Pie plano

Se trata de una alteración fisiológica en la conformación del pie, en la cual se presenta la ausencia del arco plantar. Esta condición puede adoptar varias formas y se caracteriza por el

contacto completo o por la presencia mínima de un arco en la planta del pie. Rivera (1999).

6.7. Pie cavo

Se trata de una deformación fisiológica en la estructura del pie en la que se observa un incremento en la longitud del arco plantar. Como resultado, el contacto con el suelo se restringe únicamente a la zona del talón y los metatarsos. Berciano y cols. (2011).

6.8. Diabetes

La diabetes se define como una enfermedad metabólica crónica que afecta la forma en que el cuerpo convierte los alimentos en energía. Durante este proceso, la mayor parte de los alimentos que comemos se descomponen en glucosa (azúcar) e ingresan al torrente sanguíneo. Para que las células del cuerpo utilicen este azúcar como fuente de energía, el páncreas produce una hormona llamada insulina, que es clave para introducirla en el cuerpo. Este proceso generalmente no ocurre en personas con diabetes. Es posible que el páncreas no produzca suficiente insulina, que las células del cuerpo no respondan adecuadamente a la insulina o que ambas cosas ocurran al mismo tiempo. Como resultado, los niveles de azúcar en sangre aumentan a niveles elevados, lo que puede tener graves consecuencias para la salud. Castro-Meza, Pérez-Zumano, y Salcedo-Álvarez (2017).

6.9. Declaración de Helsinki

La Declaración de Helsinki es el documento en el cual establece normas y directrices éticas para la investigación médica con seres humanos. Fue desarrollada por la Asociación Médica Mundial con el objetivo de lograr un equilibrio entre el avance científico y la protección de los derechos y la seguridad de los participantes en la investigación. Esencialmente, la Declaración establece un vínculo importante entre la ética de la investigación y la protección de los derechos de los participantes. Significa que la investigación médica no sólo debe apuntar a producir conocimiento sino que también debe respetar la dignidad y la autonomía de quienes participan voluntariamente en esa investigación. Algunos principios éticos importantes descritos en la Declaración de Helsinki incluyen:

- Consentimiento informado: Antes de aceptar participar en un estudio de investigación, los participantes deben recibir información clara y completa sobre el propósito, los riesgos y los beneficios del estudio.

- Ventajas: El objetivo principal del estudio debe ser la salud de los participantes. Los beneficios potenciales de la investigación deben superar los riesgos potenciales.
- No hacer daño: La investigación no debe causar daño a los participantes.
- Equidad: Los beneficios y riesgos de la investigación deben distribuirse equitativamente entre los participantes.

Proporciona recomendaciones detalladas sobre la aplicación práctica de estos principios. Estas pautas cubren aspectos como selección de participantes, el diseño del estudio, el consentimiento informado y la revisión ética. Al adherirse a los estándares y principios éticos descritos en la Declaración de Helsinki, los investigadores pueden garantizar que la investigación médica se realice de manera responsable y que se protejan los derechos de los participantes. Cabe señalar que la Declaración de Helsinki es un documento que ha sido revisado y actualizado muchas veces a lo largo de los años. Esto refleja el compromiso continuo de la comunidad médica internacional con la ética de la investigación y la protección de los participantes. Di y cols. (2011).

También aborda otros aspectos importantes de la investigación médica con seres humanos. Éstas incluyen:

- Seguridad y confidencialidad de los datos de los participantes.
- Seleccione un grupo de participantes que sea representativo de la población a la que se aplicarán los resultados del estudio.
- Transparencia en la financiación y conflictos de intereses en la investigación.

Mundial (2023).

Estas enfermedades se pueden detectar al hacer un estudio de la huella plantar, por lo que se pueden utilizar equipos que reflejen esta huella o capturar la imagen de la huella, estos procesos no son invasivos al cuerpo pero se debe respetar los derechos de los pacientes, la mayoría de equipo que se utilizan para el estudio de la huella del pie dependen de un espejo y una cámara, los detalles de la huella dependerán de la reflexión de luz que sea captada tanto por el espejo como la cámara y la dirección del as de luz. Ferrin, Magdalena, Loaiza, López, y Henao (2017).

6.10. Reflexión de Luz

La luz, en su viaje incansable, experimenta un cambio de dirección cuando choca contra una superficie y rebota hacia otra. Este fenómeno se conoce como reflexión de la luz y se rige por una ley fundamental: el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. En el caso de un espejo, la interacción con la luz es aún más fascinante. Toda la luz que llega a su superficie se refleja en una única dirección, creando una imagen especular del objeto que la refleja. Imaginemos un rayo de luz que incide sobre un espejo plano. Al chocar contra la superficie del espejo, la luz se refleja en un ángulo que es exactamente igual al ángulo con el que llegó. Es como si la luz rebotara en una pelota imaginaria, siguiendo una trayectoria perfectamente simétrica. Esta propiedad de la reflexión de la luz en un espejo plano es la que nos permite ver nuestro reflejo. La luz que sale de nuestro cuerpo incide sobre el espejo y se refleja en dirección a nuestros ojos, creando la ilusión de que hay otra persona idéntica a nosotros al otro lado del espejo. La reflexión de la luz también tiene aplicaciones prácticas en diversos campos. Se utiliza en espejos retrovisores para que los conductores puedan ver lo que sucede detrás de ellos, en telescopios para reflejar la luz de las estrellas y planetas, y en instrumentos ópticos como microscopios y prismáticos. Fernandez, Gil, Moriel, y Recio (2009).

6.11. Python

Python es un gran lenguaje de programación. Se destaca en el mundo del desarrollo rápido de aplicaciones (RAD) por su tipado y enlace dinámicos. Es muy sencillo, su sintaxis prioriza la legibilidad y es fácil de aprender. Esta característica hace que el código sea más fácil de entender en comparación con otros lenguajes, reduce los costos de desarrollo y mantenimiento y promueve la colaboración entre equipos. Facilita la creación de programas utilizando módulos y paquetes para que el código pueda reutilizarse en todos los proyectos. Además, sus bibliotecas e intérpretes son gratuitos, lo que aumenta su accesibilidad y elimina las barreras financieras al desarrollo de software. Challenger-Pérez, Díaz-Ricardo, y Becerra-García (2014).

6.12. Visual Studio

Visual Studio es un editor de código abierto y multiplataforma desarrollado por Microsoft. Las características incluyen una poderosa integración con Git, soporte de depuración de código y extensiones que facilitan la escritura y ejecución de código en prácticamente cualquier lenguaje de programación. El amplio reconocimiento y popularidad de Visual Studio se refleja en fuentes confiables. Guérin (2018).

6.13. TinkerCAD

Es una herramienta practica y fácil de usar, principalmente para diseños en 3D, la ventaja más grande es que es una aplicación online gratuita, por lo que no se debe instalar ninguna aplicación, esta herramienta es desarrollada por la empresa de Autodesk. Su sistema se basa en CSG, con el cual se puede diseñar modelos sólidos, podemos conseguir un modelo más complejo agregando más formas García, Puchades, y Luis (2021). Se puede utilizar para variedad de aplicaciones que tengan que ver con modelado 3D, como es la impresión misma, pues a herramienta permite exportar en los distintos formatos que se utiliza para modelados en 3D, haciendo que se compatible con algunas aplicaciones. Además de funcionar en ordenadores, también funciona para dispositivos móviles, pero tenemos esa limitación que solo se encuentra disponible para dispositivos IOS, como el iPad. García y cols. (2021).

6.14. Procesamiento de Imágenes

Es la manipulación imágenes, mediante el empleo de diversas técnicas, procesamientos y algoritmos informáticos. Estos procedimientos permiten alcanzar múltiples objetivos, como contribuir a diagnósticos en el ámbito de la medicina y entornos afines. Elizondo y Maestre (2005).

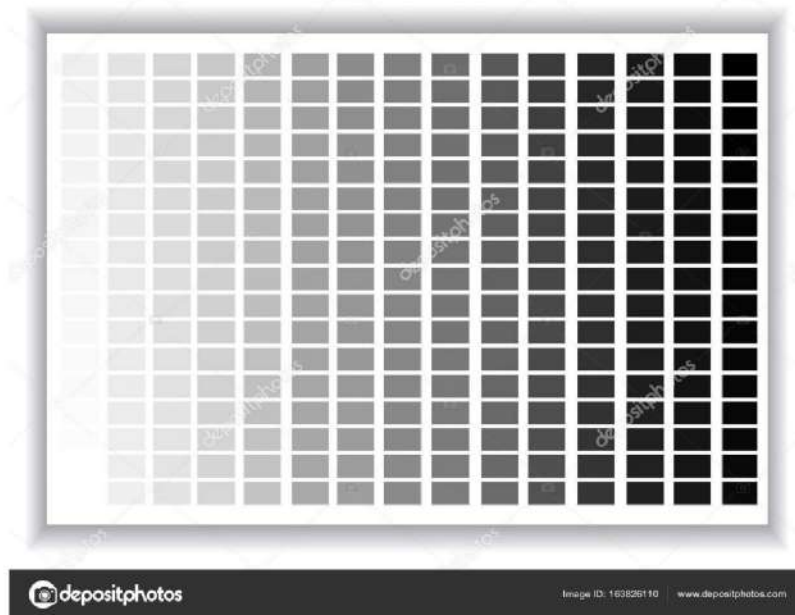
6.15. Escala de Grises

La escala de grises consiste en una gama de tonalidades que van desde el negro total hasta el blanco total, excluyendo los colores. Este espectro se emplea en diversas áreas como la fotografía, televisión, diseño gráfico, entre otros, con el fin de representar imágenes desprovistas de color, utilizando únicamente diferentes matices de gris.

En una imagen en escala de grises, el valor asignado a cada píxel indica la luminosidad de ese punto específico, generalmente expresado como un número entre 0 (representando el negro absoluto) y 255 (representando el blanco absoluto) en imágenes digitales de 8 bits. Sin embargo, este intervalo puede variar en función de la profundidad de bits de la imagen. Blog (s.f.).

Figura 1

imagen escala de gris.



Nota: Cuadro diferencial de 0 a 255 píxeles, tomado de Site (s.f.).

La escala de grises tiene diversas aplicaciones, que describiremos a continuación de manera sucinta:

Reducción del tamaño del archivo: Las imágenes en escala de grises a menudo requieren menos espacio de almacenamiento que las imágenes a color debido a la menor cantidad de datos necesarios.

Procesamiento de imágenes: Algunos algoritmos y técnicas de procesamiento de imágenes funcionan de manera más eficiente en imágenes en escala de grises que en imágenes a color.

Realce de detalles: En ciertas circunstancias, la ausencia de color en una imagen puede resaltar ciertos detalles que podrían pasar desapercibidos en una imagen a color.

Estética y estilo: La fotografía en blanco y negro, esencialmente una forma de escala de grises, es apreciada por su capacidad para evocar ciertos ambientes o emociones que pueden no lograrse con imágenes a color.

Análisis de texturas: La escala de grises es fundamental en el análisis de texturas en diversas investigaciones y aplicaciones técnicas.

Conversión para personas con discapacidad visual: La conversión de imágenes a escala de grises puede facilitar la visualización de detalles para personas con ciertas formas de discapacidad visual.

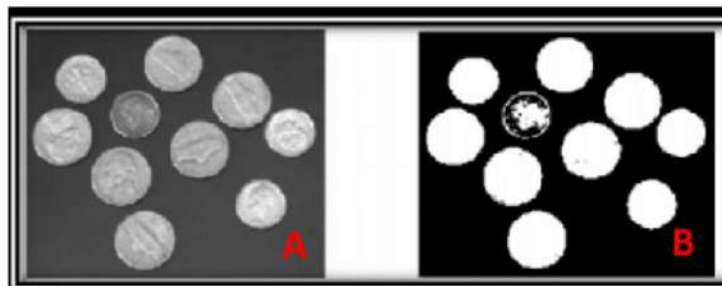
Aplicaciones médicas y científicas: La escala de grises desempeña un papel crucial en aplicaciones médicas como la tomografía computarizada y la resonancia magnética, donde los diferentes tonos de gris representan diversas densidades o propiedades de los tejidos. En ciencias, se utiliza para representar datos en mapas de calor o imágenes satelitales. Blog (s.f.).

6.16. Binarización

Técnica de procesamiento de imágenes que consiste en convertir una imagen a escala de grises o en blanco y negro, se realiza mediante procesos de barridos de matriz por medio de bucles lo que produce la reducción de la escala de colores, esto facilita el análisis de imágenes, el reconocimiento óptico de caracteres, segmentación de regiones y detección de borde, con esto podemos reducir el tamaño y complejidad de la imagen lo que significa mejor rendimiento y eficiencia de los algoritmos que procesan. Magro (2013).

Figura 2

Imagen binarizada.



Nota: Comparativa de una imagen binarizada y una en escala de grises, tomado de Unknown (2023).

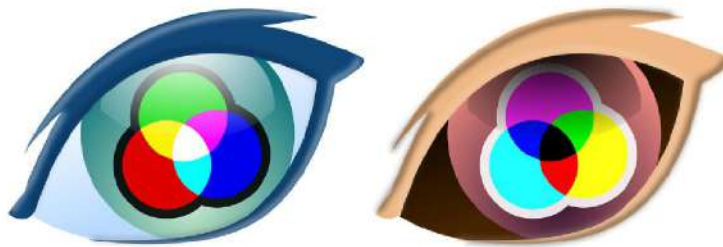
6.17. Inversión de colores

En el ámbito digital, se encuentran disponibles numerosas herramientas y configuraciones destinadas a mejorar la experiencia de uso de dispositivos electrónicos. Una de estas opciones es la inversión de colores, una función que posibilita la modificación de la apariencia de

la pantalla al invertir los colores convencionales. La función de inversión de colores se encuentra comúnmente en una variedad de dispositivos electrónicos, desde smartphones hasta computadoras. Su propósito es alterar la apariencia de la pantalla al invertir los colores convencionales, transformando los tonos oscuros en claros y viceversa. Esta inversión se aplica tanto al color de fondo como a los elementos visuales presentes en la pantalla, como texto, imágenes y iconos. aprendeeconomia.info (s.f.).

Figura 3

Imagen con inversión de colores.



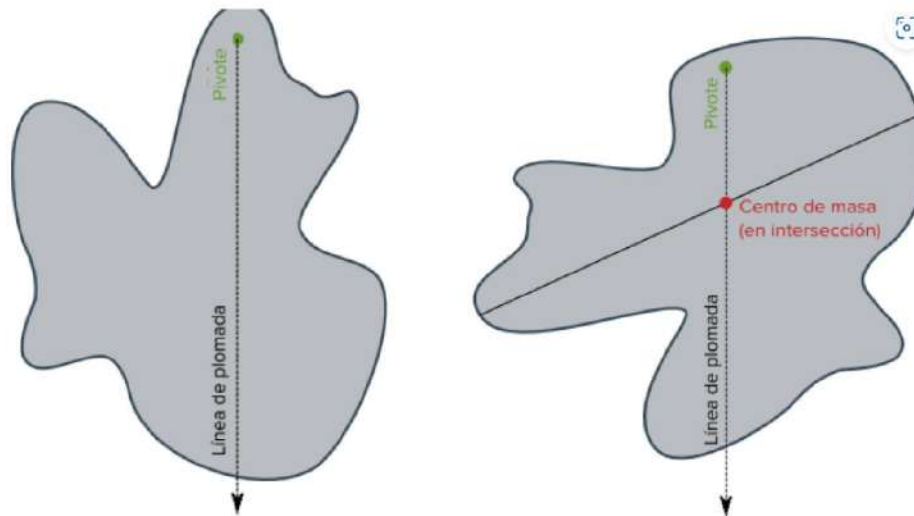
Nota: Comparativa de una imagen RGB y una con inversión de colores, tomado de. for Research Technology Hellas (FORTH) (s.f.)

6.18. Centro de masas

El centro de masa es una ubicación definida con respecto de un objeto o a un sistema de objetos. Es el promedio de las posiciones de todos los componentes del sistema, teniendo en cuenta sus respectivas características. Para un objeto sólido simple con densidad uniforme, el centro de masa coincide con el centro de masa. Por ejemplo, el centro de masa de un disco uniforme está en el centro. Sin embargo, en algunos casos el centro de masa puede no estar en ninguna parte visible del objeto. Por ejemplo, el centro de masa de un anillo está en su centro donde no hay material.

Figura 4

Imagen con el centro de masas.



Nota: Imagen con el centro de masas, tomado de Academy (s.f.).

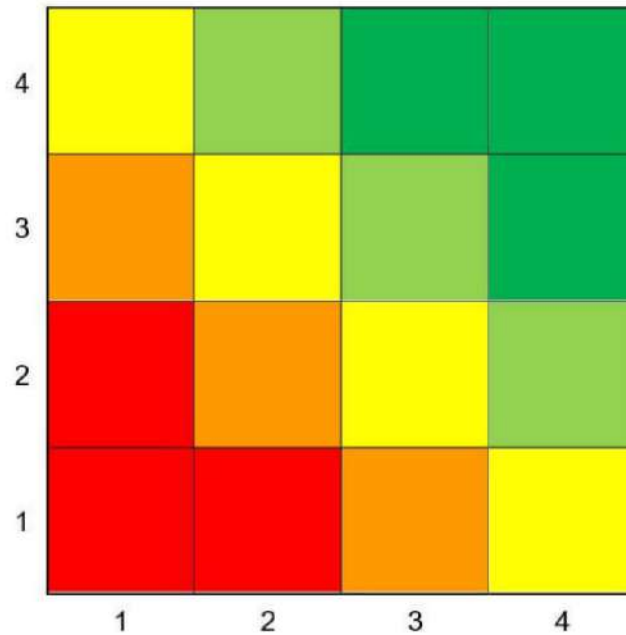
6.19. Mapa de calor

Un mapa de calor, conocido como "heatmap" en inglés, es una representación gráfica de datos que utiliza colores para mostrar el nivel de actividad. Normalmente, se emplean tonos más oscuros para indicar una actividad baja y tonos más brillantes para señalar una actividad alta.

Existen varios esquemas de color que se pueden utilizar para representar el mapa de calor, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Los mapas que utilizan colores del arco iris son comunes, ya que los seres humanos pueden percibir más matices de color que de gris, lo que supuestamente aumenta la cantidad de detalles perceptibles en la imagen. Arimetrics (s.f.).

Figura 5

Mapa de calor.



Nota: Mapa de calor, tomado de de Proyectos Master (s.f.).

6.20. Podoscopio

Se trata de un instrumento de podología diseñado para llevar a cabo un análisis estático del pie al mostrar las huellas del paciente cuando se aplica presión debido a la gravedad y el peso sobre el podoscopio. Su utilización resulta de gran utilidad en la podología, ya que facilita el reconocimiento y análisis de patologías plantares. Hernández y cols. (2015b).

7. Marco metodológico

7.1. Materiales

- Espejo de 40x50 centímetros cuadrados
- Cámara web 1080p
- Vidrio Templado 10 capas
- 2 Planchas de Madera Prensada
- Minicomputador NUC
- Pantalla Táctil
- Estructura de Hierro
- Luces Led RGB
- Canaletas para Luces
- Pintura en Aerosol Negra Mate 2 latas
- Silicona para Vidrios
- Pistola para Silicona de Vidrios
- Tornillos de media Pulgada
- Taladro
- Broca para metal
- Broca para Madera
- Plancha de Pegatina negra

7.2. Revisión del estado del arte

La evaluación de la presión plantar se ha convertido en una herramienta crucial para prevenir y corregir problemas posturales, diagnosticar enfermedades relacionadas con los pies y comprender las dinámicas de la marcha. Diversos estudios han explorado este campo, utilizando diferentes métodos y tecnologías. En la Universidad de Alcalá de Henares (España), el Departamento de Ciencias Morfológicas y Cirugía ha realizado investigaciones pioneras sobre la distribución de la presión plantar. Estos estudios han arrojado luz sobre cómo varían las fuerzas en diferentes regiones del pie, información fundamental para comprender su impacto en la salud. En Colombia, se ha llevado a cabo un estudio similar que incluye a pacientes con diabetes tipo I y II. Este trabajo resalta la necesidad de investigaciones más detalladas sobre la presión plantar en poblaciones con condiciones específicas. La complejidad de la distribución de la presión plantar es evidente. Factores como el peso, la edad, el sexo y las condiciones médicas influyen en las mediciones. Por lo tanto, se requiere de dispositivos especializados para evaluar esta distribución con precisión. El proyecto que nos ocupa busca desarrollar una plataforma con propiedades ópticas y mecánicas, utilizando vidrio templado para garantizar su robustez y precisión. Esta herramienta pretende ser un aporte valioso tanto en entornos médicos como en el procesamiento de imágenes para profesionales de la salud. Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías médicas conlleva consideraciones éticas. Es fundamental adherirse a principios éticos internacionalmente reconocidos, como los establecidos en la Declaración de Helsinki. Esta declaración proporciona directrices para la investigación médica en seres humanos y es crucial al elaborar protocolos para pruebas técnicas de equipos médicos, aborda aspectos como el consentimiento informado, la evaluación ética de los protocolos de investigación y la protección de los derechos de los participantes. Incorporar estos principios en la planificación y ejecución de las pruebas técnicas del proyecto garantizará que se realicen de manera ética y responsable.

Figura 6

Metodología.



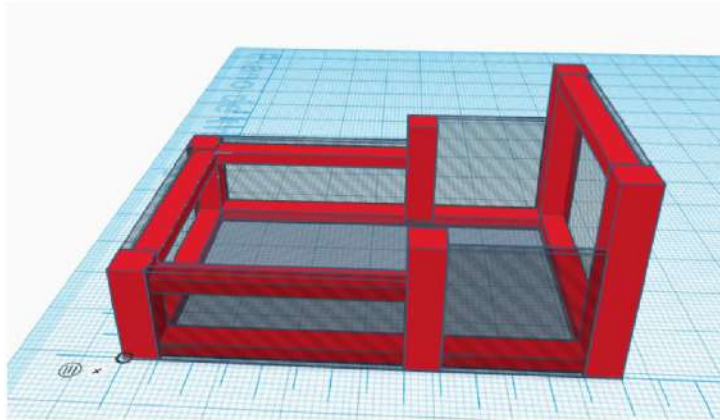
Nota: Se puede observar la metodología del proyecto, imagen de autoría propia.

Se diseñará un podoscopio con la finalidad de compactar el mismo, se cambiará el cristal templado de 5 capas por uno de 10 capas, se reducirá el tamaño de 50 centímetros a 20 centímetros y se agrandará la parte frontal del podoscopio para adecuar una pantalla y un minicomputador. Con estos cambios el podoscopio utiliza menos material lo que lo hace más ligero y potable sin que este pierda resistencia, pues, al cambiar el cristal templado gana más resistencia, para tener una mejor iluminación y captar mejor la presión en el podoscopio se sustituirán las luces LED por luces fluorescentes lo que nos da una mejor definición de la presión que ejerce el pie contra el cristal. En la siguiente figura se describe gráficamente la metodología que se aplicará, además de tener explicado cada uno de ellos.

El diseño se lo realizó primeramente en 3D con la ayuda de la aplicación online Tinkercad, el primer modelo sería una base de 40 cm de largo y 35 cm de ancho con una altura de 25cm en la base y la parte delantera de 40 cm de alto.

Figura 7

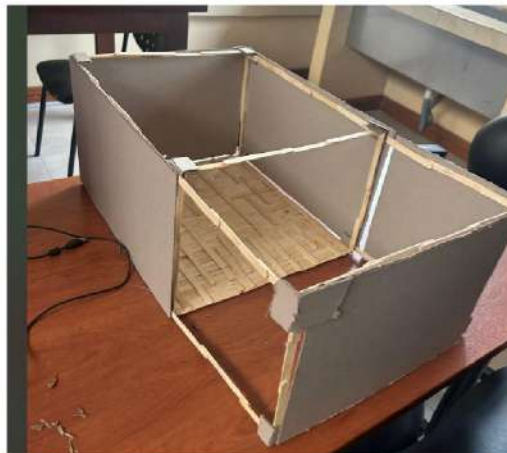
Diseño Preliminar.



Nota: El diseño preliminar que tendría el podoscopio, imagen de autoría propia.

Figura 8

Maqueta Preliminar.



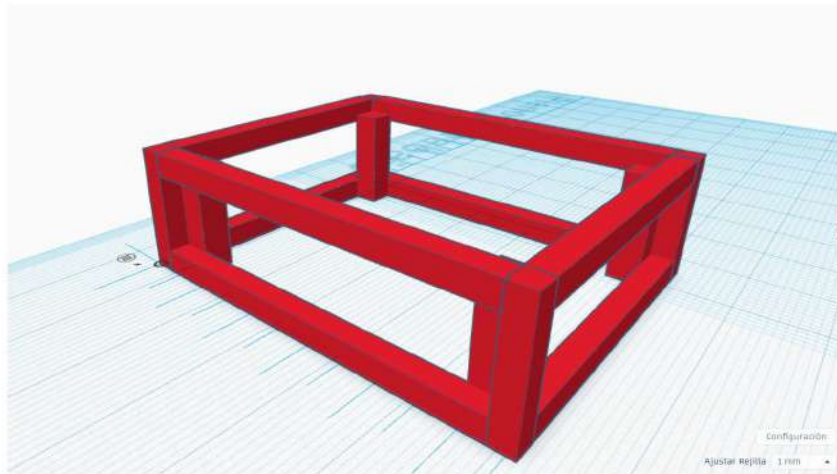
Nota: Diseño a escala de la maqueta preliminar, imagen de autoría propia.

Con esta maqueta se probó los ángulos del espejo y la cámara, gracias a esto nos dimos que q agregando otra cámara y tomando 2 fotos y luego uniéndolas mediante procesamiento de

imágenes se podría unir y tener una sola imagen, por lo que, se puede reducir a un tamaño más pequeño, sin embargo, se opto por reducirlo a 17 cm debido a que en Ecuador la normativa para un escalón indica que debe tener 17 cm. Seguidamente se cambio el diseño en 3D del podoscopio.

Figura 9

Diseño Final.



Nota: Diseño final de podoscopio, imagen de autoría propia.

Como se puede notar, el podoscopio quedo como un solo rectángulo, sus medidas se cambiaron para hacer más grande su base y reducir su tamaño, como se menciono anteriormente, se cambio la altura a 20 cm, pero la base cambio a 66 cm de largo por 46 de ancho y se agregaron 4 soportes internamente de 18 cm de alto y 4 cm de greso, esto debido a que se cambio el tamaño del vidrio templado a un tamaño de 60 cm de largo por 40 cm de ancho. Seguidamente de estos cambios se realizo el modelo a escala esto con la finalidad de tener las ultimas del diseño para realizarse en hierro 53 negro, pues este material es resistente y puede soportar hasta 150 kilogramos.

Figura 10

Maqueta Final.



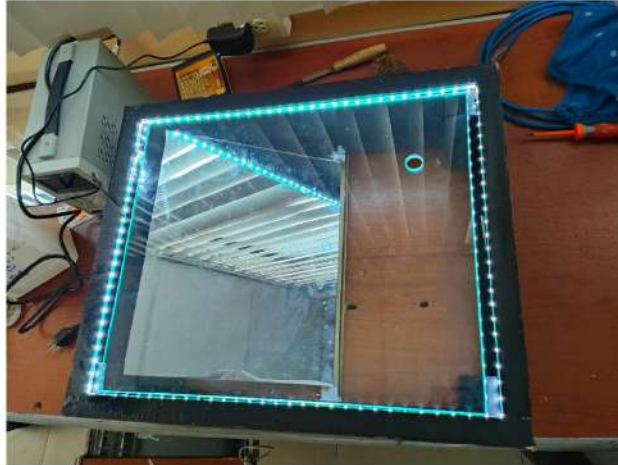
Nota: Se puede observar el diseño final en forma de maqueta, imagen de autoría propia.

La posición en que se encuentre el espejo es importante pues se necesita tener una buena flexión, pues la luz debe incidir en el espejo para rebotar y la cámara pueda captar el as de luz de manera que nos permita visualizar toda la planta del pie con la menor distorsión posible. Es un factor crucial para obtener una buena imagen de la huella plantar. La luz debe incidir en el espejo en un ángulo adecuado para que rebote y la cámara pueda captar la imagen del pie con la menor distorsión posible. En la versión anterior, el espacio donde se colocaba el espejo era de 50 cm de alto y 45 cm de ancho, lo que permitía colocarlo a un ángulo de 45 grados, adecuado para la captura de la imagen.

Sin embargo, en la nueva versión, el espacio se ha reducido a 18 cm de alto y 40 cm de ancho. Esta reducción del espacio limita el ángulo al que se puede colocar el espejo, lo que afecta la forma en que se capta la reflexión y produce una distorsión en la imagen del pie. Para obtener una mejor imagen del pie, se ha modificado el ángulo del espejo a 30 grados, que es el nuevo ángulo óptimo.

Figura 11

Inclinación del Espejo.



Nota: Se puede observar la posición del espejo, imagen de autoría propia.

Posterior mente de la construcción de la maqueta y algunos arreglos finales se realizo la estructura en hierro, además se implemento la barra para que las personas puedan apoyarse al momento de bajar del podoscopio el cual también tendrá la pantalla táctil, para finalizar el podoscopio se le agregaron canaletas las cuales en su interior tienen luces leds, las cuales van en los laterales del vidrio templado.

Figura 12

Podoscopio con leds.



Nota: Se puede observar el diseño final, imagen de autoría propia.

Figura 13

Podoscopio con pantalla.



Nota: Podoscopio con la Pantalla, imagen de autoría propia.

7.3. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de señales tiene como objetivo, recolectar o usar la información de la imagen capturada y así pasarlas por diferentes filtros que nos ayudan a visualizar detalles de interés. Este procesamiento de señales usa métodos digitales para cambiar la perspectiva de las imágenes.

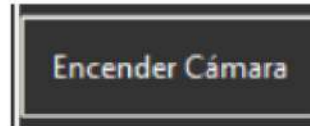
Los componentes y funcionalidades se basa en diferentes etapas.

Ventana Principal: La ventana principal se crea utilizando Tkinter. Tiene dos widgets de Canvas (`self.canvas_live` y `self.canvas_capture`) para mostrar la transmisión en vivo de la cámara y las imágenes capturadas, respectivamente. Los botones se colocan en el lado derecho de la ventana para diversas funcionalidades.

Funcionalidad de la Cámara: La cámara se configura inicialmente para capturar cuadros de la cámara predeterminada (índice 0). El método `toggle_camera_state` cambia el estado de la cámara entre encendido y apagado cuando se hace clic en el botón 'Encender Cámara'.

Figura 14

Botón encendido.

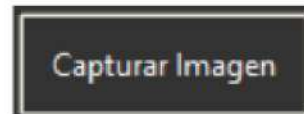


Nota: Botón de encendido, imagen de autoría propia.

El método `capture_and_correct_image` captura un cuadro, aplica una transformación de perspectiva para corregir la imagen y muestra la imagen corregida.

Figura 15

Botón de la Captura de imagen.



Nota: Botón de la Captura de imagen, imagen de autoría propia.

Procesamiento de Imágenes: Convertir a Escala de Grises: (`convert_to_grayscale`) Esta función convierte la imagen capturada a escala de grises utilizando el método `cv2.cvtColor`. La conversión a escala de grises es útil para simplificar el procesamiento de imágenes, ya que reduce la complejidad al eliminar la información de color.

Figura 16

Filtro escala de Grises.

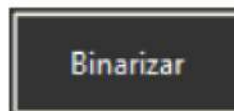


Nota: Botón del filtro de la escala de grises, imagen de autoría propia.

Binarización de la Imagen (`binarize_image`): La binarización es un proceso mediante el cual se convierte una imagen en escala de grises en una imagen binaria, donde los píxeles se clasifican como blanco o negro según un umbral. Utilizando `cv2.threshold`, se establece un umbral para convertir la imagen en una imagen binaria, donde los píxeles con intensidad por encima del umbral se convierten en blanco y los píxeles por debajo del umbral se convierten en negro.

Figura 17

Botón del filtro de binarización.

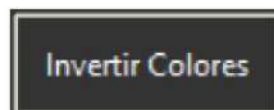


Nota: Botón del filtro aplicado en binario, imagen de autoría propia.

Invertir Colores (`invert_colors`): Esta función invierte los colores de la imagen capturada. Utiliza (`cv2.bitwise_not`) para realizar la operación de inversión de forma eficiente.

Figura 18

Filtro con colores invertidos.



Nota: Botón del filtro con colores invertidos, imagen de autoría propia.

Cálculo del Centro de Masas:(`calculate_centroid`) El centro de masas es un punto que representa el centro geométrico de una forma en una imagen. Primero, se convierte la imagen capturada a escala de grises y luego se binariza para encontrar los contornos utilizando `cv2.findContours`. Se encuentra el contorno más grande, que se asume como la forma de interés. Se calcula el centro de masas utilizando las funciones de momentos de la imagen y se dibuja un círculo en el centro calculado en la imagen original.

Figura 19

Botón del filtro aplicado el centro de masas.



Nota: Botón del filtro aplicado el centro de masas, imagen de autoría propia.

Aplicación de Filtro de Mapa de Calor: (`aplicar_filtro_presion`) Esta función aplica un efecto de mapa de calor a la imagen capturada. Primero, se convierte la imagen capturada a escala de grises y se suaviza utilizando un filtro Gaussiano (`cv2.GaussianBlur`). Luego, se aplica un mapa de color utilizando `cv2.applyColorMap` para resaltar las áreas de interés. Finalmente, se combina la imagen original con el mapa de calor usando `cv2.addWeighted` para obtener la imagen final con el efecto de mapa de calor superpuesto.

Figura 20

Botón del filtro aplicado el mapa de calor.

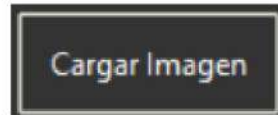


Nota: Botón del filtro aplicado el mapa de calor, imagen de autoría propia.

Carga y Guardado de Imágenes: Los usuarios pueden cargar una imagen desde el sistema de archivos utilizando el botón 'Cargar Imagen'.

Figura 21

Botón para la carga de imagen.

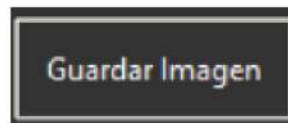


Nota: Botón para la carga de imagen, imagen de autoría propia.

El botón 'Guardar Imagen' permite a los usuarios guardar la imagen capturada/procesada con la información del paciente.

Figura 22

Botón para guardar la imagen original.

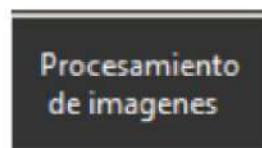


Nota: Botón para guardar la imagen original, imagen de autoría propia.

Menús: El script tiene un menú principal y un menú de procesamiento. El menú de procesamiento se muestra cuando se hace clic en el botón 'Procesamiento de imágenes'.

Figura 23

Botón para ir a la sección de procesamiento de imágenes.



Nota: Botón para ir a la sección de procesamiento de imágenes, imagen de autoría propia.

Funcionalidad de Ayuda: El botón 'Ayuda' abre una nueva ventana que muestra una imagen que sirve como documentación de ayuda.

Figura 24

Botón de ayuda.

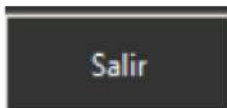


Nota: Botón de ayuda, imagen de autoría propia.

Salir de la Aplicación: El botón 'Salir' libera la cámara y cierra la aplicación.

Figura 25

Botón para cerrar/salir la aplicación.



Nota: Botón para cerrar/salir de la aplicación, imagen de autoría propia.

Bucle de Actualización: El método update se encarga de actualizar continuamente la transmisión en vivo de la cámara si la captura está habilitada.

7.4. Creación del Software en Python

El software del podoscopio MV 7000 está programado en MatLab por lo que tiene el inconveniente de que el programa es de pago, debido a esto se creó un nuevo software con Python el cual es un lenguaje abierto de programación, para el desarrollo de los algoritmos de procesamiento de imágenes se utilizara herramienta de programación Visual Studio Code, el cual nos permite programar con Python y hacer uso de los diversas librerías con las cuales se trabajará para crear el software y su interfaz. Se diseñará diversos tipos de filtros para las imágenes como lo son la inversión de colores y binarización, se podrá visualizar en tiempo real y capturar la imagen las cual podremos visualizar la presión ejercida y para esto se tendrá que implementar el centro de masa el cual se podrá ver de la misma manera que la imagen, es decir, en tiempo real y capturada la imagen para posteriormente aplicar los filtros

ya mencionados. Como se menciona con anterioridad esta en la fase 2 del proyecto, por lo que la fase 1 fue la creación del software, pero, este nuevo podoscopio cuenta con una nueva interfaz, ya que, la anterior interfaz tenía un mal funcionamiento debido a la potencia del microcomputador, en ocasiones funcionaba de manera lenta o con tirones, en peores de los casos se cerraba por completo, es por eso que para esta nueva versión del podoscopio se diseñó desde cero un software que utilice menos recurso y que funcionara de manera óptima, por ello se obtuvo una nueva interfaz la que de igual manera es intuitiva y sencilla de utilizar dando la oportunidad de que cualquier persona pueda manipular la interfaz.

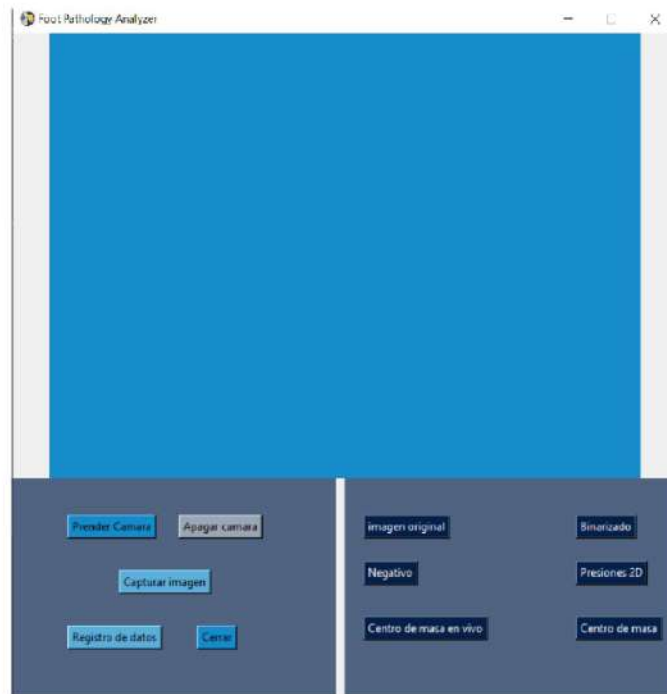
7.5. Comparativa entre dispositivos

Se probó el software en el diseño de los 2 podoscopios, el MV 7000 y el nuevo modelo, esto con la finalidad de que su funcionamiento este correctamente implementado y comprobar que no exista algún percance como podría ser la posición de la cámara o la luz que recibe el podoscopio con las luces leds. Las pruebas se realizaron con los integrantes del proyecto para comprobar que la toma de imágenes sea correcta y se pueda aplicar los filtros de manera adecuada. Es decir, que el dispositivo funciona con normalidad al igual que su versión anterior, a pesar de tener con distintos componentes, materiales de construcción y arquitectura.

7.5.1. Software

Figura 26

Interfaz Primera Fase.



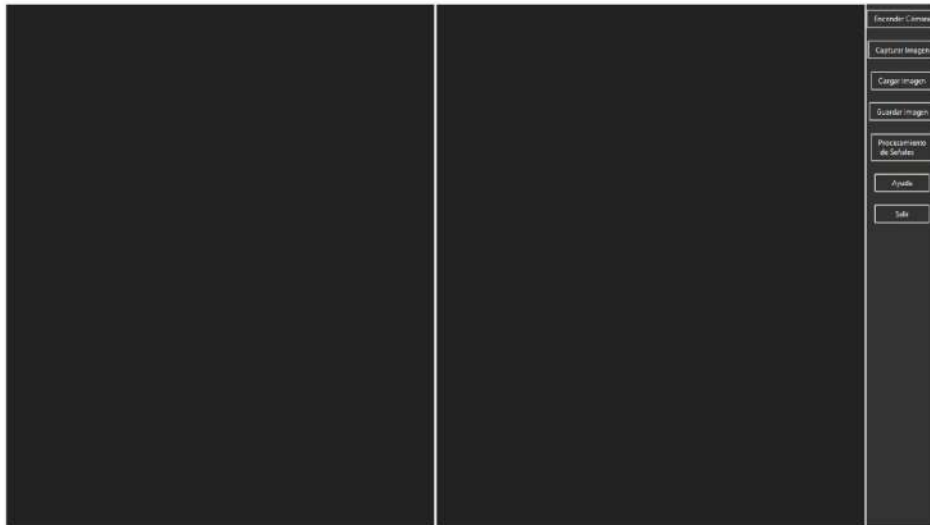
Nota: Interfaz Primera Fase, imagen tomada de Andrade y Peñafiel (2023).

En la interfaz realizada en la primera fase podemos notar los colores representativos de la carrera de biomedicina un un modelado bastante intuitivo, la aplicación funciona solo en modo ventana, en esta se visualiza los botones para manipular la aplicación y la imagen en tiempo real, teniendo que abrir otra ventana para visualizar las imágenes capturadas, cargadas, guardar los datos o aplicar alguno de los filtros.

Esta interfaz funcionaba de manera óptima en la mayoría de los casos en el microcomputador, en otro el programa funcionaba con retraso o lentitud, esto pudo ser debido a que el microcomputador fue añadido ya al finalizar la fase 1, por lo que no se pudo dar un uso extensivo, cave mencionar que al encender la cámara no se podía apagar y se debía cerrar el programa, y el centro de masa estaba configurado para ver la centralidad de la imagen y no se indicaba el lugar donde existe más presión.

Figura 27

Interfaz Segunda Fase.



Nota: Interfaz Segunda fase, imagen de autoría propia.

En la nueva interfaz se decidió que los colores sean negros para poder concentrarse mejor en los colores de la capturas de la imágenes, también se agrego que en la interfaz sea de pantalla completa, se pueda visualizar en una misma ventana la imagen en tiempo real y la capturada con todos los filtros, se cambio el modo de guardado de dato, guardando la imagen con los datos, también al tener una cámara con mayor calidad el software puede capturar las imágenes con mayor nitidez y calidad. El software al tener más pruebas con la NUC, se pudo optimizar el código para un funcionamiento óptimo, por lo que esta nueva interfaz no a presentado tirones o lentitud, cuanta con los mismo filtros pero tiene un botón extra, el cual es el botón de ayuda, el cual explica la función para cada uno de los botones, también se cambio la manera en que se tenia el centro de masa, en este caso indica cual es la zona que presenta mayor presión.

Cabe mencionar que esta interfaz se realizo desde cero, pues en la anterior interfaz tuvimos problemas al modificar o alterar parámetros, al cambiar algo se modifica varias cosas, como la posición de los frames o el tamaño de la letra, por este motivo se decidió realizar desde cero, en esta interfaz también el botón de encendido apaga la cámara y para los filtros sea agrego un botón que lleva directo a las opciones de los filtros y un botón para regresar a la captura/guardado de imágenes.

7.5.2. Hardware

Figura 28

Comparación de Podoscopios.



Nota: Diferencia entre podoscopios de la v1 y v2, imagen de autoría propia.

Como se puede observar el podoscopio de la derecha es la v1, la principal diferencia que se puede notar es la pantalla, pues la versión 2 cuenta con la incorporación de esta, a su vez es removible, cuenta con la NUC incorporada al interior de la estructura, este también puede ser removido para su mantenimiento o actualización a un mejor computador, se aprecia que la base se le redujo sus dimensiones, se opto por un color negro, pues, en este refleja menos la luz de los exteriores por lo que en su interior se detallara solo la luz reflejada en los bordes del vidrio templado, se hizo más amplia la zona donde la persona va a estar de pie, pues el anterior podoscopio no capturaba de manera correcta los pies de una persona de estatura alta. También, esta versión es más resistente pero ligera, cuenta con más bases de apoyo para el vidrio templado, a su vez, este es de mayor grosor pasando de 5 capas a 10 capas.

7.6. Reajuste de hardware y evaluación de desempeño del software

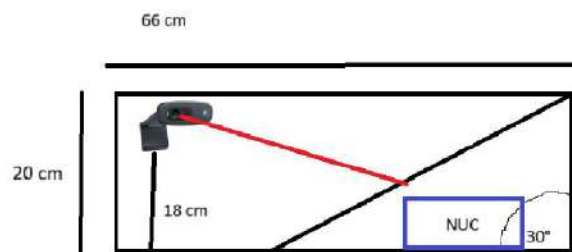
7.6.1. Hardware

Como se mencionó en el paso anterior, se hará una comparativa entre los 2 dispositivos y comprobar su funcionamiento con el software incorporado, en esta etapa se corregirá algún error ya sea por la posición de la cámara o el color de las luces como también puede ser por algún funcionamiento en el software el cual pueda ser mejorado. Estos ajustes se los debe hacer debido al ángulo de la cámara como el del espejo debido a la reflexión de la luz, en el caso de podoscopio MV-7000, la cámara se encuentra en una posición horizontal y a una altura de 15 cm de la base del podoscopio la cual apunta a un espejo inclinado 43 grados el cual reflejaba la presión ejercida de la planta de los pies contra el vidrio templado de 5 mm, pero debido a que se reajusto el tamaño para volverlo más compacto se cambió el ángulo de la cámara y el espejo, teniendo en este nuevo modelo se elevó la cámara 5 cm teniendo una altura de 20 cm, se reclino más el espejo a un ángulo de 30 grados, debido a este cambio de inclinación del espejo, también se cambió el ángulo de la cámara para tener la misma dirección de reflexión que el anterior modelo, por ello las medidas finales serian 20 cm de altura, 66 cm de largo y 46 de ancho, el vidrio de 10 mm tendría un área de 60 cm por 40cm.

El ángulo de la cámara determina la perspectiva de la imagen capturada. Un ángulo más bajo puede producir una imagen con mayor distorsión, mientras que un ángulo más alto puede ser más preciso. Mientras tanto, ángulo del espejo afecta la cantidad de luz que se refleja en la cámara. Un ángulo más perpendicular al suelo reflejará más luz, mientras que un ángulo más oblicuo reflejará menos luz.

Figura 29

Posicionamiento.



Nota: Posicionamiento de la cámara y el espejo, imagen de autoría propia.

El anterior modelo no se realizó un ajuste de imagen, pero debido a que en esta nueva versión se tuvo este nuevo ajuste, se decidió hacer un ajuste de imagen solo para comprobar si existía distorsión, pero gracias a q se tuvo la misma dirección de reflexión de la cámara y el espejo, se hicieron correcciones mínimas en el ajuste de imagen mediante procesamiento de imágenes.

7.6.2. Software

Por la parte de software, nos encontramos que al cambiar las dimensiones del podoscopio, se obtuvo una mejor imagen y con una distorsión menor, gracias a esto no se tuvo que hacer un reajuste de las imágenes con el código, pero se le realizó una prueba de imágenes colocando una figura en distintas ubicaciones y girándola para determinar el nivel de distorsión.

Se probó con diferentes colores de luz y tomando capturas de la misma huella plantar para comprobar con que color de luz led se visualizaba con más detalle la huella plantar, los colores probados fueron amarillo, blanco, azul y verde, con el color que permitió visualizar más detalles fue con las luces led de color verde, por ello, se decidió utilizar el color verde como la fuente de luz que ira directamente al espejo y mostrar la huella plantar.

Figura 30

Imagen con Distorsión.



Nota: Distorsión en la esquina inferior derecha, imagen de autoría propia.

Debido a la posición del espejo y la luz externa que existe esto genera distorsión, haciendo que las imágenes se vean alteradas, esto se pudo corregir moviendo la posición de la cámara o con software.

Figura 31

Imagen con Distorsión corregida con software pero con luz externa.



Nota: Figura con Distorsión, imagen de autoría propia.

en la Figura 31 se puede apreciar como al mover la cámara y su ángulo se cambia la distorsión y posicionamiento de los objetos, por este motivo se corrigió con código y ajustando la cámara en distintas posiciones y ángulos, pero se puede apreciar que debido al paso de luz aun existe una pequeña distorsión, esto se debe a que el espejo esta rebotando la luz emitida por las luces led y la luz externa, el choque de estas nos genera distorsión.

Se utiliza como referencia las figuras 30 y 31 por que estas nos permite demostrar como el paso de luz y la posición del espejo y la cámara pueden tener distintos enfoques y mostrar la distorsión, pus una vez la persona esta subida y tapada, la luz que pasa del exterior es mínima, por lo cual, solo se podría observar lo que capta la cámara por el ángulo del espejo

Figura 32

Distorsión Corregida con software y sin luz externa.



Nota: Imagen con la Distorsión Corregida, imagen de autoría propia.

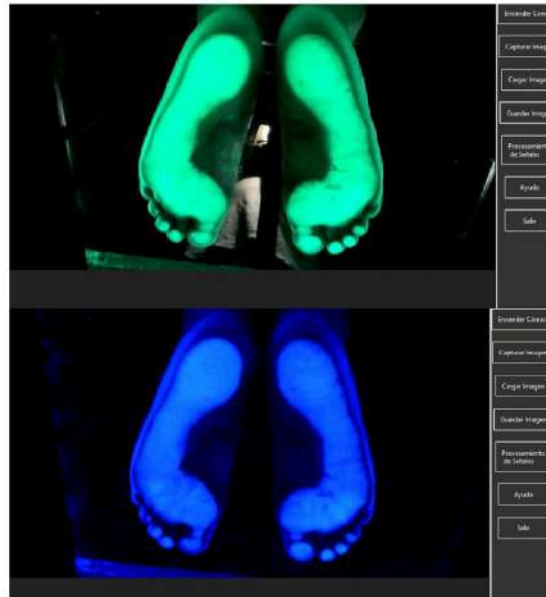
Aquí podemos ver como la imagen al estar solo con la luz led sin que entre luz del exterior, no existe una distorsión, también se le realizo unos ajustaos con software.

Nos decidimos por el color verde, pues el ojo humano tiene mayor sensibilidad a a este color por lo que podemos detectar mayor detalle y contraste.

La luz verde tiene una longitud de onda más larga que la luz azul. Esto hace que la luz verde se disperse menos y sea más direccional, lo que facilita capturar los detalles más finos. Team (2023)

Figura 33

Luces Led.



Nota: Diferencia entre luces led azul y verde, imagen de autoría propia.

7.7. Declaración de Helsinki

Reconocemos que para este proyecto se debe tener en cuenta la ética e integridad del paciente, debido a esto, hemos decidido aplicar los principios de la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (AMM).

7.7.1. Protección de los Participantes.

La Declaración tiene un fuerte énfasis en la protección de los derechos, la salud y el bienestar de los participantes en investigaciones médicas, por ello nos comprometemos con la seguridad y bienestar de los participantes en la captura de imágenes mediante nuestro podoscopio.

7.7.2. Consentimiento Informado

Antes de realizar cualquier procedimiento, nos aseguramos de obtener su consentimiento informado completo y explicamos de manera que sea comprensible para los participantes,


explicando detalladamente el propósito del estudio y cualquier riesgo potencial.

7.7.3. Derechos del Paciente

Se respetara y se salvaguardara los derechos de los participantes, incluyendo el derecho a la privacidad, confidencialidad de datos y el derecho de retirarse del estudio en cualquier momento sin consecuencias negativas.


7.7.4. Protocolo

Tabla1: Protocolo para profesionales de salud/especialistas

	
PROTOCOLO	
Carrera: Biomedicina	Estudiantes/Investigadores/Especialistas:
Título: Protocolo Podoscopio	
Resumen:	
Nombre del paciente/participante:	
Objetivo General:	Asegurar la protección del paciente, así como de los investigadores o especialistas y el equipo involucrado en la practica de estos ensayos clinicos, con el objetivo de obtener resultados precisos y proporcionar un diagnóstico detallado y preciso al paciente.

<p>Objetivos Específicos:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar adecuadamente el proceso de limpieza y desinfección antes de realizar las pruebas, tanto para el personal médico, el paciente y el entorno de trabajo, lo que incluye también el equipo utilizado en el procedimiento. ▪ Elaborar una guía detallada que describa los pasos necesarios para llevar a cabo la captura de la huella plantar y su posterior procesamiento. ▪ Obtener resultados que faciliten la toma de decisiones por parte de los profesionales de la salud para emitir un diagnóstico preciso al paciente, o para los investigadores, proporcionando respuestas en sus estudios.
<p>Investigador/ra de Instrucciones</p>	<p>Individuo responsable de brindar las instrucciones detalladas sobre cada uno de los procedimientos a seguir durante las pruebas a llevar a cabo.</p>
<p>Investigador/ra de Verificación</p>	<p>Individuo encargado de supervisar minuciosamente cada una de las tres etapas de la prueba: desinfección, metodología de prueba, procesamiento de imágenes y resultados.</p>

Tabla2: Procedimiento para realizar evaluaciones en pacientes o participantes.

	
PROTOCOLO	
Carrera: Biomedicina	Pacientes/Participantes
Elemento:	Descripción:
1. Registro de/paciente:	Implica la llegada del paciente del paciente, la recopilación de información personal y observaciones preliminares mientras esperan instrucciones adicionales.
2. Desinfección adecuada del paciente:	<p>La limpieza de los pacientes o participantes en esta etapa tiene como objetivo salvaguardar su seguridad y prevenir la propagación de virus y hongos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se da un aviso para que el paciente se retire los zapatos y calcetines 2. se usa alcohol para desinfectar el área y pies. 3. se procede a secar con algodón

3. posición del paciente en el podoscopio:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocarse adecuadamente encima del vidrio templado con ayuda de la base del podoscopio. 2. Escuchar las indicaciones del profesional de la salud o el especialista 3. Estar en la superficie del vidrio sin agarrarse o sostenerse de la base. 4. El paciente debe tener una posición erecta.
4. Conclusión de la prueba:	Entrega de los respectivos resultados, diagnóstico dado, tratamiento y avisos respectivos.

Tabla3: Protocolo experimental

	
PROTOCOLO	
Carrera: Biomedicina	Especialista/Investigador
Elemento:	Descripción:
1. Registro de/paciente:	Implica la llegada del paciente del paciente, la recopilación de información personal y observaciones preliminares mientras esperan instrucciones adicionales

<p>2. Desinfección del personal:</p>	<p>La limpieza de los pacientes o participantes en esta etapa tiene como objetivo salvaguardar su seguridad y prevenir la propagación de virus y hongos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El especialista o el investigador tiene lavarse las manos. 2. Desinfección con alcohol de las manos. 3. Secado de manos y colocación de guantes.
<p>3. Desinfección del podoscopio y encendido:</p>	<p>Para desinfectar la superficie del podoscopio hay que cerciorarse que todo el sistema se encuentre apagado para evitar cortocircuitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se da un aviso para que el paciente se retire los zapatos y calcetines 2. se usa alcohol para desinfectar el área y pies. 3. se procede a secar con algodón

<p>4. Posición del paciente en el Dispositivo:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocarse adecuadamente encima del vidrio templado con ayuda de la base del podoscopio. 2. Escuchar las indicaciones del profesional de la salud o el especialista 3. Estar en la superficie del vidrio sin agarrarse o sostenerse de la base. 4. El paciente debe tener una posición erecta.
<p>5. Registro de datos:</p>	<p>En la aplicación se necesitaran los siguientes datos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nombre y apellido. 2. Edad. 3. Cédula
<p>6. Protocolo Experimental:</p>	<p>Se emitira algunas indicaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Posición de cada paciente 2. captura de cada imagen. 3. Observaciones respectivas. 4. Resultados guardados.

<p>7. Proceso Experimental:</p>	<p>Existen dos posibilidades en esta prueba, la primera es de forma estática basandose la visualización en una imagen capturada y la segunda es con un archivo previamente guardado en caso de que sea una consulta frecuente del paciente para revisión</p> <p>Primera parte:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. se captura la imagen del pie del paciente. 2. Se aplica los respectivos filtros que el profesional de la salud/especialista necesite: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Escala de grises. ▪ Negativo. ▪ Mapa de colores (Presión). ▪ Centro de masa. ▪ Binarizado <p>Segunda parte:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Decir a cada paciente que esté lo mas estable posible.
<p>8. Visualización de resultados:</p>	<p>En este paso, el profesional de la salud/especialista examinará los resultados de las imágenes capturadas y determinará cuáles de ellas presentará al paciente.</p>
<p>9. Conclusión de la prueba:</p>	<p>Entrega de los respectivos resultados, diagnostico dado, tratamiento y avisos respectivos</p>
<p>10. Desinfección necesaria del podoscopio:</p>	<p>Al concluir la prueba, es necesario repetir el punto 3, que consiste en apagar el equipo y limpiarlo meticulosamente con alcohol.</p>

11. Desinfección de la zona del trabajo:	Despejar el área de trabajo, eliminando cualquier residuo de toallas desechables, desechando los guantes utilizados por el especialista o investigador, y procediendo a lavarse las manos.
--	--

7.8. Prueba Final del Dispositivo con Todas sus Funciones

Se realizaron pruebas finales, capturando imágenes y visualizar la presión ejercida y su distribución comprobando que el dispositivo funcione correctamente y su software este óptimo para su uso después de realizarse sus cambios de mejora.

Figura 34

Pie Plano

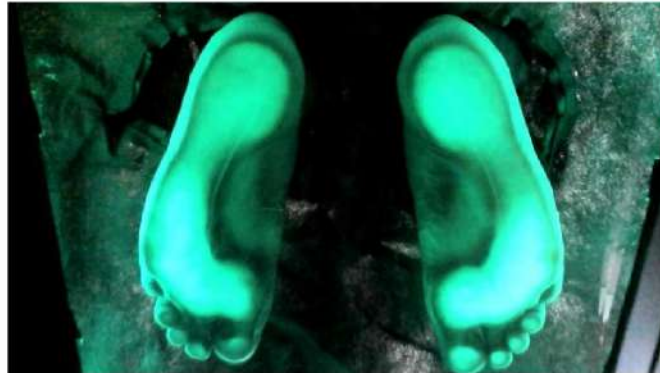


Nota: Imagen con ejemplo de pie plano, imagen de autoría propia.

En esta imagen podemos notar a simple vista que existe más presión en el pie derecho y que padece de pie plano en el pie izquierdo.

Figura 35

Pie Normal



Nota: Imagen con ejemplo de pie Normal, imagen de autoría propia.

En la figura 35 se puede apreciar las huellas plantares sin ninguna distorsión ni alteración, lo que se puede notar sin mucha claridad es que el paciente tiene mayor presión en el pie izquierdo.

8. Resultados

8.1. Hardware

El podoscopio al ser mas liviano y ligero, tiene una mejor portabilidad, lo que significa que puede cambiar de lugar de trabajo con una mayor facilidad. Gracias a la implementación del microcomputador y la pantalla táctil que a su vez es removible para su ensamble, lo vuelve un equipo independiente, es decir, que no necesita de periféricos o componentes externos para funcionar, y al ser su pantalla removible, se puede utilizar otra pantalla o incluso utilizar el podoscopio sin la pantalla incorporada.

Se redujo sus medidas a una tamaño óptimo, como es 20 cm de alto, siendo casi del porte de un escalón que por norma general se encuentra entre 17 a 19 cm, su ancho se redujo a 44cm y su largo a 60 cm, su comparación de tamaños se puede ver mejor en la Figura 28

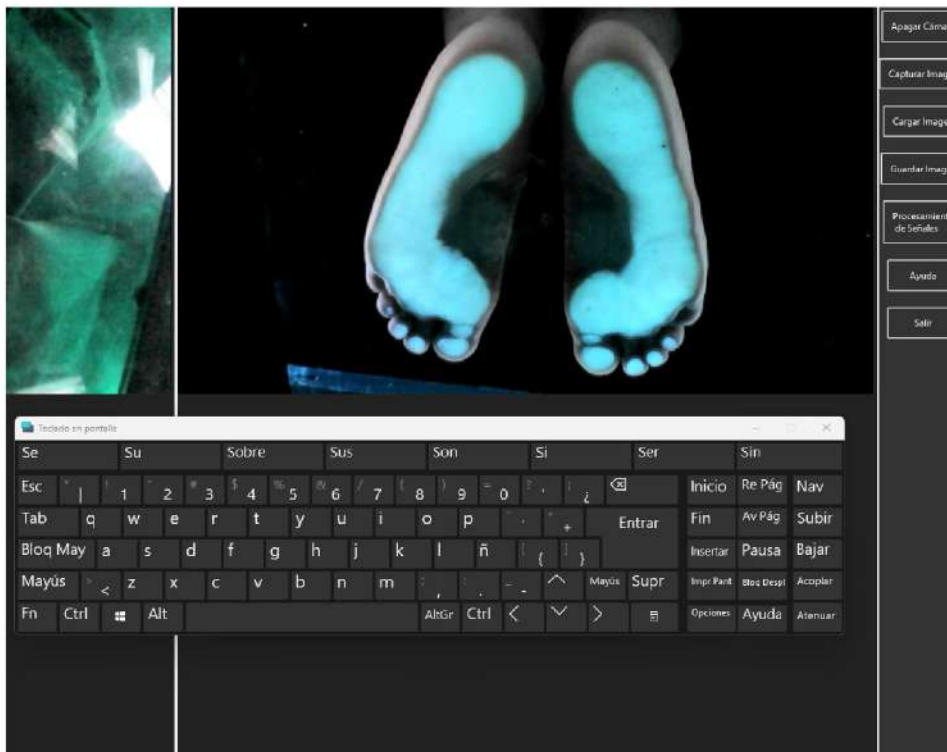
8.2. Software

Gracias al ángulo del espejo y la cámara no se tuvo que hacer corrección de imagen, por lo que no existió complicación al comento de capturar la imagen y aplicar sus filtros.

8.2.1. Interfaz

Figura 36

Interfaz Probada.



Nota: Prueba de la Interfaz terminada, imagen de autoría propia.

La interfaz funciona de manera fluida, sin tirones y en óptimas condiciones, su principal punto a destacar es su botón de ayuda el cual explica de manera sencilla lo que hace cada botón, en caso de mayor información, se encuentra con más detalle en el punto 7.3.

8.2.2. Filtros

El software funciona de una manera más fluida y aplica los filtros de manera inmediata, y no se ralentiza el programa, se pueden visualizar a la misma vez q la imagen en tiempo real

- Captura

Esta imagen es tomada sin ningún filtro, solo con luz verde reflejada en la la planta de los pies

Figura 37

Captura de la imagen.



Nota: Imagen capturada con el podoscopio, imagen de autoría propia.

- Escala de Grises

este método convierte la imagen capturada a escala de grises utilizando la función `cv2.cvtColor()` de OpenCV y luego muestra la imagen resultante en la interfaz de usuario utilizando el método

```
self.show_captured_frame()
```

Esto permite al usuario visualizar la imagen en escala de grises directamente en la aplicación de cámara.

Figura 38

Imagen Escala de Grises..



Nota: Imagen con filtro de Grises, imagen de autoría propia.

- Binarizado

La binarización es un proceso en el cual una imagen en escala de grises se convierte en una imagen binaria, donde cada píxel solo puede tener uno de dos valores posibles: blanco (generalmente representado por el valor máximo, como 255 en una imagen de 8 bits) o negro (representado por el valor mínimo, como 0 en una imagen de 8 bits). Esto se logra estableciendo un umbral en la intensidad de los píxeles y clasificando los píxeles en la imagen original como blanco o negro según si su intensidad es mayor o menor que el umbral. *capitulo2.pdf* (s.f.). Imagen binarizada (B) = 1, si I > Umbral 0, si I <= Umbral

Figura 39

Imagen Binarizada.



Nota: Imagen con Filtro Binarizado, imagen de autoría propia.

- Centro de Masa

El centro de masas, también conocido como centroide, es un punto que representa el 'centro de masa' de una región o objeto en una imagen. Se calcula promediando las coordenadas de todos los píxeles en esa región, ponderadas por su intensidad.

$$(C_x, C_y) = \left(\frac{\sum_i \sum_j x_i \cdot I(i, j)}{\sum_i \sum_j I(i, j)}, \frac{\sum_i \sum_j y_j \cdot I(i, j)}{\sum_i \sum_j I(i, j)} \right) \quad (1)$$

Figura 40

Imagen Centro de Masa.



Nota: Imagen con Filtro Centro de Masa, imagen de autoría propia.

- Colores Invertidos

La inversión de colores de una imagen implica cambiar cada píxel de la imagen original por su color complementario. Por ejemplo, el blanco se convierte en negro, el negro se convierte en blanco, el rojo se convierte en cian. Un píxel con valores R (rojo) = 55, G (verde) = 128 y B (azul) = 233 en una resolución de color de 255 (lo que corresponde a una profundidad de color de 8 bits) tendría su color inverso calculado como sigue: $R = 255 - 55 = 200$, $G = 255 - 128 = 127$ y $B = 255 - 233 = 22$.

Figura 41

Imagen Colores Invertidos.



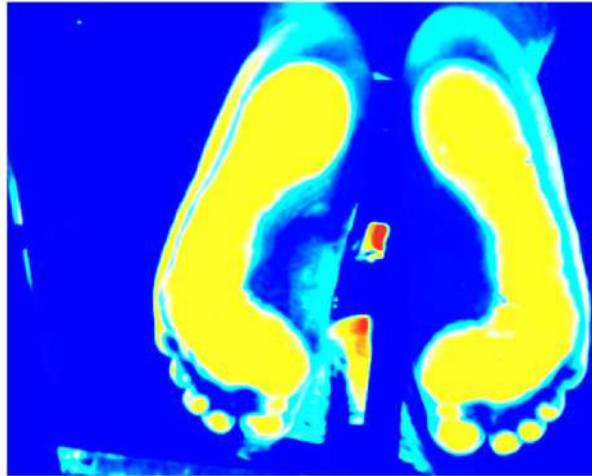
Nota: Imagen con Filtro de Colores Invertidos, imagen de autoría propia.

- Mapa de Calor

En el mapa de calor es una representación visual de datos donde los valores se representan como colores en una matriz. Es comúnmente utilizado para visualizar la distribución espacial de datos numéricos, donde los colores más oscuros representan valores más bajos y los colores más claros representan valores más altos.

Figura 42

Imagen Mapa de Calor.



Nota: Imagen con Filtro de Mapa de Calor, imagen de autoría propia.

El análisis final revela que al utilizar una cámara de mayor resolución y explorar diferentes tipos de luz led de color, se logra capturar imágenes con mayor nivel de detalle y definición. Específicamente, se encontró que la luz verde y, en ciertos contextos, la luz azul, resultan más propicias para obtener imágenes de alta calidad durante la evaluación respectiva. Al examinar las imágenes previas, se confirma que los filtros operaron según lo previsto. Es importante destacar que los filtros son adaptables, lo que implica que sus parámetros pueden ser ajustados individualmente. Esta flexibilidad permitió llevar a cabo una calibración precisa de los filtros. No obstante, es crucial que estos resultados sean validados por un profesional de la salud o un experto en el campo, lo que contribuirá a realizar diagnósticos con una precisión aún mayor.

9. Cronograma

Tabla 4

Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																				
OBJ. ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Horas		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
	Redacción del anteproyecto	10	10	10	10															40
Revisar el estado del arte sobre el principio de funcionamiento de los podoscopios y la tecnología para su implementación.	Investigar sobre el funcionamiento de podoscopios y como capturan la huella plantar.					10														10
	Investigar técnicas de procesamiento de imágenes.					10														10
	Redactar un informe resumiendo las tecnologías y dispositivos encontrados.						10													10
Diseñar el prototipo de un podoscopio que permita la adquisición de imágenes para la evaluación de presión plantar e incluya una interfaz de usuario.	Diseñar el modelo 3D seguido de la maqueta para el prototipo de podoscopio.							10												10
	Seleccionar los materiales con los cuales se trabajara para ensamblar el podoscopio.							15												15
	Ensamblaje del podoscopio con la NUC y la pantalla táctil.								15											15
	Realizar pruebas de funcionamiento									15										15
Realizar un protocolo para pruebas técnicas para evaluar el prototipo de podoscopio con base a la Declaración de Helsinki.	Investigar sobre la Declaración de Helsinki y redactar un informe.									15										15
	Desarrollar el código del algoritmo para procesamiento de imágenes.										20									20
	Crear una interfaz de usuario más intuitiva.											20								20
Realizar pruebas con base al protocolo propuesto.	Realizar pruebas con el software implementado.												10							10
	Probar la resistencia del prototipo mediante diferentes presiones.													20						20
	Evaluar el sistema funcional del software.														15					15
	Redacción del documento															10	10			20
Total de horas																			240	

Nota.La presente tabla muestra las actividades por cumplir de acuerdo con los objetivos planteados. Elaboración propia.

10. Presupuesto

10.1. Materiales

Tabla 5

Recursos para el desarrollo del proyecto

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Estructura metalica	1	\$90	\$90
Vidrio Templado	1	\$27	\$27
Mircocomputador	1	\$400	\$400
Camara Web	1	\$10	\$10
Metro de Luces Led	2	\$10	\$20
Patanalla Tactil	1	\$450	\$50
Espejo	1	\$2	\$90
Plancha de Madera	2	\$15	\$30
Canaleta de Luces	2	\$4.5	\$9
Silicona para Vidrios	1	\$3	\$3
Tornillos	6	\$0.20	\$1.40
Pegatina Negra	1	\$5	\$5
Transporte	1	\$20	\$20
Total de costos			\$755.4

Nota: Talento Humano.

10.2. Talento Humano

Tabla 6

Recursos Humanos

Cargo	Nombre	Costo	Horas	Horas Total	Costo Total
Socio	Fernando Urgiles	\$2	8	240	\$480
Autor 1	Diego Guanuchi	\$5	8	240	\$1200
Autor 2	Patricio Ramírez	\$5	8	240	\$1200
Total de Salario					\$2880

Nota: En la tabla se observa el costo de las 240 horas establecidas en el cronograma de trabajo y el costo de las horas de revisión por parte del docente revisor

10.3. Análisis Tir y Van

Costo total del proyecto es la suma del costos de materiales y talento humano, pero debido a la naturaleza del proyecto se debe sumar el costo del comité de bioética.

Costo Total= Materiales + Talento Humano + Comité de Bioética

Coto Total=755.4 + 2880 + 1500

Costo Total= \$ 4387.55

Asumiendo que el ingreso aumenta un 10% cada año

Año 1: \$752.15

Año 2: 752.15*1.10=\$827.36.

Año 3: 827.36*1.10=\$910.10

Año 4: 910.10*1.10=\$1001.11

Año 5: 1001.11*1.10=\$1101.22

Con esto se realiza el calculo del VAN

$$VAN = -3635.4 + \frac{752.15}{(1+0.10)^2} + \frac{827.36}{(1+0.10)^2} + \frac{910.10}{(1+0.10)^2} + \frac{1001.11}{(1+0.10)^2} + \frac{1101.22}{(1+0.10)^2}$$

$$VAN = -3635.4 + 909.73 + 1000.08 + 1100.32 + 1212.13 + 1331.28$$

$$VAN = -3635.4 + 6553.55$$

$$VAN = 2918.15$$

Con este análisis se puede determinar si el proyecto es rentable, de lo cual, podemos establecer que si existe rentabilidad para el proyecto

11. Conclusiones

Las conclusiones son de acuerdo a los objetivos planteados. Se recomienda una conclusión por cada objetivo donde de acuerdo al anexo 10 resume puntualmente el objetivo alcanzado y expone de manera concreta datos sobresalientes del estudio. el desarrollo del podoscopio representa un avance muy significativo, ya que este se ha realizado con mucha eficacia, tanto en software como en hardware, logrando cada objetivo y haciendo mas que eso, esto contribuye al desarrollo y mejoramiento del mismo, teniendo mucha eficacia, a continuación las conclusiones específicas:

La integración de funciones de procesamiento de imágenes, como la inversión de colores, la binarización, la generación de mapas de colores y el cálculo del centro de masa o centroide, ha mejorado significativamente la capacidad de diagnóstico y evaluación del podoscopio. Ahora, los profesionales de la salud y los investigadores en el campo de la podología disponen de un conjunto de herramientas versátiles y potentes para analizar los datos recopilados, lo que les permite detectar con mayor precisión y rapidez las enfermedades y anomalías en los pies.

El desarrollo de una interfaz hombre-máquina accesible marca un importante progreso en la usabilidad del podoscopio. La facilidad de interacción con el equipo ha simplificado las operaciones y la interpretación de resultados, lo que a su vez ha disminuido el tiempo requerido para realizar evaluaciones y tratamientos. Además, al disponer de un software ejecutable independiente, se ha aumentado la movilidad del dispositivo, permitiendo a los profesionales utilizarlo cómodamente en diversos entornos clínicos o de investigación.

12. Recomendaciones

- Tener el dispositivo aprobado por un comité de bioética para un mejor desarrollo al momento de realizar pruebas.
- Para mayor seguridad al paciente se puede utilizar una lamina de seguridad la cual sea más resistente, en el mercado existen algunas más resistentes.
- Limpiar el podoscopio después de cada uso, transportarlo de manera segura y no estar girándolo o estar desmontando la pantalla, pues esto puede dañar algún componente interno como también cortar algún cable debido al estiramiento.
- No conectar a mas de 120V por que podría quemar los circuitos.
- No saltar en el dispositivo, si bien soporta grandes cantidades de peso, los movimientos bruscos o vibraciones pueden descalibrar los componentes internos como la cámara, espejo o en un caso más grave, dañar la NUC.
- Dejar el teclado virtual abierto, pues al ser una aplicación en pantalla completo el teclado virtual no se activa de manera automática debido a las propias configuraciones de Windows.
- Para obtener una imagen con mayor nitidez y detalles, realizar la captura de imagen en un lugar con poca o luz o si es posible en un lugar sin luz externa.

13. Trabajos Futuros

- Tener el equipo aprobado por un comité de bioética.
- Se puede cambiar el cobertor por uno que funcione en forma de ventana, laminas de madera que se cierren mediante bisagras y se encierra desde los tobillos para abajo, esto para menor luz.
- Con aplicación de una inteligencia artificial entrena podría detectar los patrones de una huella normal y dar una detección de las posibles anomalías que presente el paciente
- Se podrían agregar sensores de presión para detectar el peso de la persona y tener una mejor base de datos

- Con el avance de tecnologías se podría mejorar aun más la cámara y el procesamiento de imágenes, lo q nos daría imágenes de mayor resolución y detalles.
- Con ayudo de los filtros pueden crearse plantillas 3D, tal vez agregando sensores de movimiento se pueda crear plantillas 3D que se adapten a la perfección al pie de la persona.

Referencias

- Academy, K. (s.f.). ¿qué es el centro de masa? Descargado de <https://es.khanacademy.org/science/fisica/movimiento-y-fuerzas/centro-de-masa-momento/a/centro-de-masa>
- Andrade, D., y Peñafiel, V. (2023, Agosto). Adquisición de imágenes mediante un podoscopio para la detección temprana de patologías plantares. *Por publicar Consultado: 07/Noviembre/2023*.
- aprendeconomia.info. (s.f.). Inversión de colores: beneficios y aplicaciones. *aprendeconomia.info*. Descargado de <https://aprendeconomia.info/inversion-de-colores-beneficios-y-aplicaciones/>
- Armetrics. (s.f.). Qué es mapa de calor - definición, significado y ejemplos. Descargado de <https://www.armetrics.com/glosario-digital/mapa-de-calor>
- A. San Gil Sorbet, L. G. P., F Forroil Campos. (2018). Análisis de la distribución de los centro de presión sobre la huella plantar. *Revista Científica de Ingeniería y Tecnología*, 1(1), 1–13.
- Assucena, A. M., Silvestre, J. P., Ruiz, M. S., y de Moya, M. P. (2005). Plantillas instrumentadas. utilidad clínica. *Rehabilitación*, 39(6), 324–330.
- Bennetti, P. J., y Duplonk, L. R. (1993). Pressure distribution beneath the human foot. *J Am Podiatr Med Assoc*, 83(12), 674-678.
- Berciano, J., Gallardo, E., García, A., Pelayo-Negro, A., Infante, J., y Combarros, O. (2011). Enfermedad de charcot-marie-tooth: revisión con énfasis en la fisiopatología del pie cavo. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 55(2), 140–150.
- Blog, T. C. (s.f.). ¿qué es la escala de grises? *The Color Blog*. Descargado de <https://www.thecolorblog.com/escala-de-grises/>
- Camarena, C. Á., y Villegas, W. P. (2010). Desarrollo y biomecánica del arco plantar. *Orthotips AMOT*, 6(4), 215–222.
- capitulo2.pdf*. (s.f.). Descargado de <https://www.udlap.mx/publicaciones/capitulo2.pdf> (Accessed February16,2024)
- Carreño, J., y Cabrera, P. (2014, Diciembre). Patologías. *Recuperado de: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8804/1/UPS-CT005016.pdf Consultado: 29/Abril/2023*.
- Castro-Meza, A., Pérez-Zumano, S., y Salcedo-Álvarez, R. (2017). La enseñanza a pacientes con diabetes: significado para profesionales de enfermería. *Enfermería universitaria*, 14(1), 39–46.

- Challenger-Pérez, I., Díaz-Ricardo, Y., y Becerra-García, R. A. (2014). El lenguaje de programación python. *Ciencias Holguín*, 20(2), 1–13.
- Cifuentes, P. L., Cubillos, N. C., Hernández, C. A., Huérfano, B. A., y Guerrero, É. E. R. (s.f.). Diseño e implementación de un sistema para el análisis de huella plantar mediante matlab. *Educación, ciencia y tecnologías*, 303.
- Comin, M., Pérez, J. M., Villarroja, A., Nerón, S., y Moros, T. (2003). Factores que influyen en presiones plantares. *Meditel Ingeniería Médica*.
- de Proyectos Master, G. (s.f.). Niveles de motivación personal - obligación y convicción. Descargado de <https://gestiondeproyectos-master.com/niveles-de-motivacion-personal-obligacion-y-conv/conviccion/>
- Di, M. D. I. Á. M., y cols. (2011). Declaración de helsinki, principios y valores bioéticos en juego en la investigación médica con seres humanos. *Revista colombiana de bioética*, 6(1), 125–145.
- Diéguez, S. L., Sánchez, A. J. L., y López, E. J. M. (2011). Análisis de los diferentes métodos de evaluación de la huella plantar. *RETOS: Nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*(19), 49–53.
- Elizondo, J. E., y Maestre, L. P. (2005). Fundamentos de procesamiento de imágenes. *Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California*.
- Fernandez, M., Gil, Y., Moriel, A., y Recio, J. (2009). La luz. *Links of Science for Kids*. Disponible desde la web:[http://www.quimicaweb.net/grupo_trabajo_ccnn_2/tema5/index.htm].
- Ferrin, C., Magdalena, X., Loaiza, H., López, S., y Henao, S. (2017). Sistema de extracción automática de parámetros morfológicos de la huella plantar mediante técnicas de visión por computador en un sistema embebido. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 1(23), 80–86.
- for Research Technology Hellas (FORTH), E. F. (s.f.). *Image manipulation: Inverse color*. Autor. Descargado de <https://www.ellak.gr/en/image-manipulation/inverse-color>
- García, L. R., Puchades, J. M. R., y Luis, D. J. R. (2021). El uso de tinkercad para la representación de objetos tridimensionales. *edunovatic2021*, 663.
- González López, Y. R., y Acero Montaña, L. M. C. (2022). Diseño y prototipo de un dispositivo para identificar regiones de presión plantar.
- Gorgues, J. (2008, 1 de Septiembre). Podoscopio clásico. *Recuperado de: https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-podoscopio-clasico-13126083 Consultado: 27/Abril/2023*.

- Guérin, B.-A. (2018). *Asp. net con c# en visual studio 2017: diseño y desarrollo de aplicaciones web*. Ediciones ENI.
- Hernández, L., Abarca Záldivar, G. G., Arévalo Monge, M. G., Escobar, R. C., Moreno Zavala, F. J., y Lemus Palma, J. A. (2015a). Podoscopio digital.
- Hernández, L., Abarca Záldivar, G. G., Arévalo Monge, M. G., Escobar, R. C., Moreno Zavala, F. J., y Lemus Palma, J. A. (2015b). Podoscopio digital.
- Launay, F. (2013). Malposiciones y malformaciones congénitas del pie infantil. *EMC-Aparato Locomotor*, 46(3), 1–10.
- Magro, R. (2013). Binarización de imágenes digitales y su algoritmia como herramienta aplicada a la ilustración entomológica. *Boletín de la sociedad entomológica Aragonesa*, 53, 443–464.
- Márquez, M. C. D., y Estudillo-Romero, A. (s.f.). Podoscopio con sistema de diagnóstico de parámetros morfológicos de la huella plantar mediante el procesamiento digital de imágenes.
- Miragall, M., Domínguez, A., Cebolla, A., y Baños, R. (2015). El uso de podómetros para incrementar la actividad física en población adulta: una revisión. *Clínica y Salud*, 26(2), 81–89.
- Mundial, A. M. (2023). *Declaración de helsinki de la amm - principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos*. Autor. Descargado de <https://www.wma.net/es/que-hacemos/etica-medica/declaracion-de-helsinki/>
- Nieto, M. L., Alegre, L. M., Laín, S. A., Vicén, J. A., Casado, L. M., y Jódar, X. A. (2010). ¿afecta el sobrepeso a la huella plantar y al equilibrio de niños en edad escolar? *Apunts. Medicina de l'Esport*, 45(165), 9–16.
- Pericé, A. V. (1996). *Significado de la postura y de la marcha humana:(teología, antropología, patología)*. Editorial Complutense.
- Pilco, J. L. V. (2021). Diseño de un escáner 3d para el análisis biomecánico de la huella plantar para la producción de plantillas ortopédicas utilizando el método de impresión 3d. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, 9(15), 107–118.
- Pérez, J. (s.f.). *Definición de postura corporal*. <https://definicion.de/postura-corporal/>. (Consultado el [fecha de consulta])
- Rivera, C. M. A. (1999). Conceptos actuales acerca del pie plano en los niños. *Revista Mexicana de Pediatría*, 66(6), 257–259.
- Site, S. (s.f.). *Carta de colores grises*. Descargado de <https://www.ejemplo.com/carta-de-colores-grises>
- Team, T. B. C. M. (2023). How the eye functions. *Blue Cone Monochromacy*. Descargado de

<https://www.blueconemonochromacy.org/es/how-the-eye-functions/>

Unknown. (2023). 33. a: *Imagen de entrada*. b: *Imagen binarizada*. c: *Imagen dilatada...* Descargado de https://www.researchgate.net/figure/33-A-Imagen-de-entrada-B-Imagen-binarizada-C-Imagen-dilatada-D-Imagen-erosionada_fig3_350234584

Vega, F., Solomonidis, S., Zequera, M., Ravito, G., Pérez, J., Mayorga, D., y cols. (1998). Estudio preliminar de la distribución de la presión plantar en pacientes normales y diabéticos tipo i y ii en santafé de bogotá, colombia. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, 12(1), 23-29.

ANEXOS

ANEXO 1: Pruebas según el protocolo

1. Registro Participante



Figura 43

Registro de Participante

2. Desinfección del Personal



Figura 44

Desinfección del Personal

3. Desinfección del Podoscopio y encendido

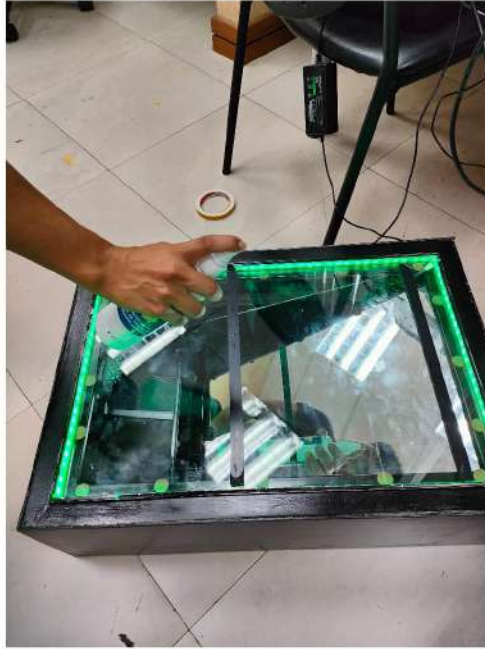


Figura 45

Desinfección del Equipo



Figura 46

Se Prende el equipo

4. Registro de Datos

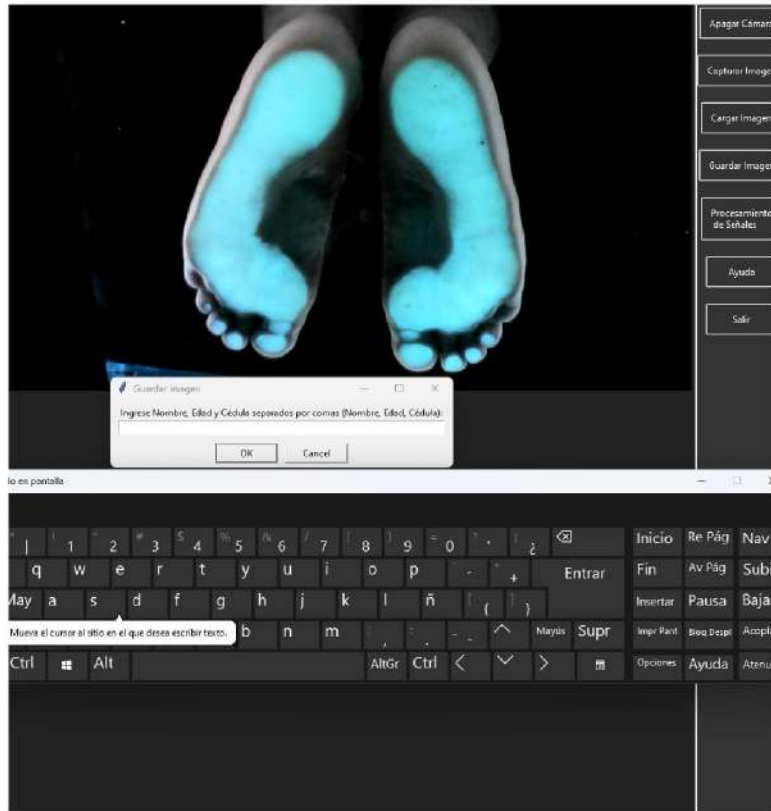


Figura 47

Se Guarda La información del Paciente

5. Protocolo Experimental



Figura 48

Se desinfecta al paciente



Figura 49

Se coloca la manta sobre los pies del participante

6. Posición del paciente en el Dispositivo



Figura 50

El paciente se posiciona encima del podoscopio

7. Proceso Experimental

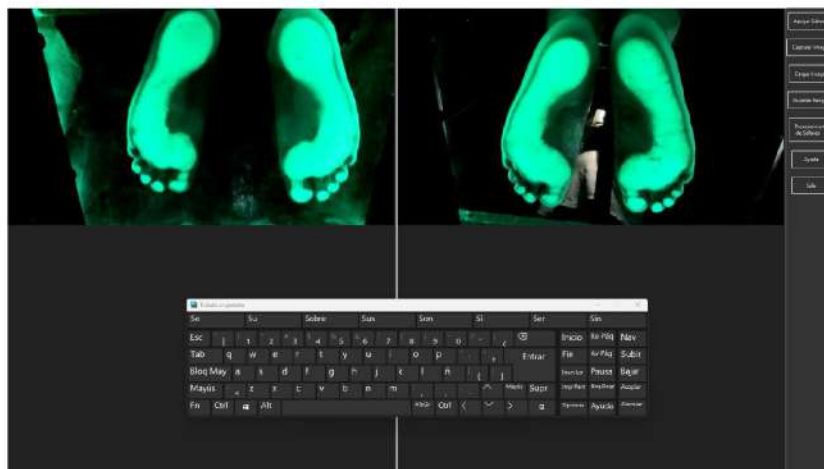


Figura 51

Se captura la imagen

8. Visualización de resultados

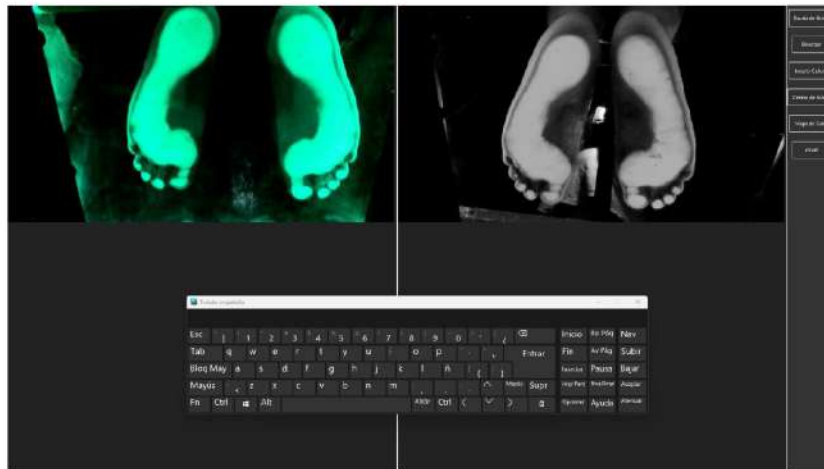


Figura 52

Captura con Filtro Escala de Grises

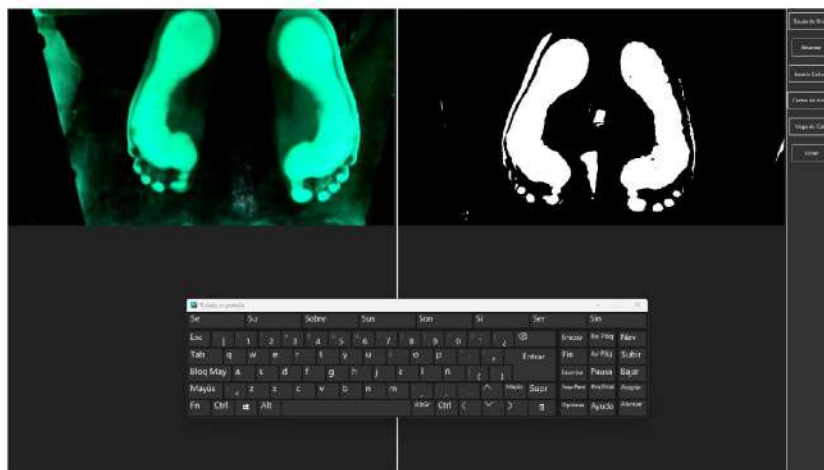


Figura 53

Captura con Filtro Binarizado

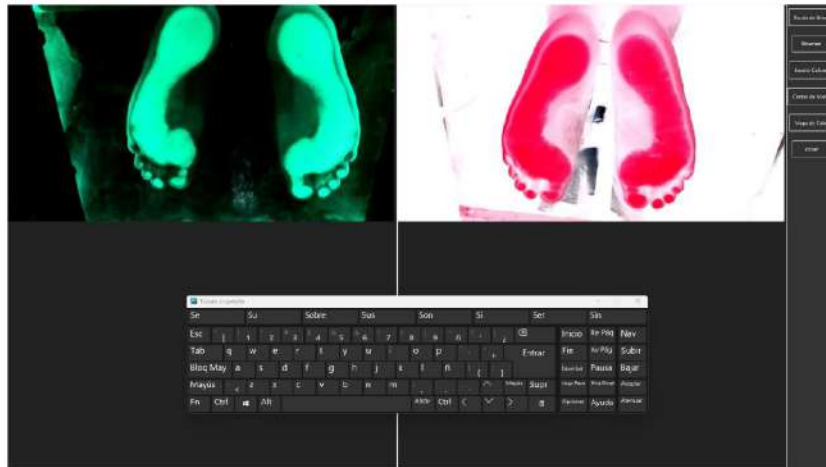


Figura 54

Captura con Filtro Colores Invertidos

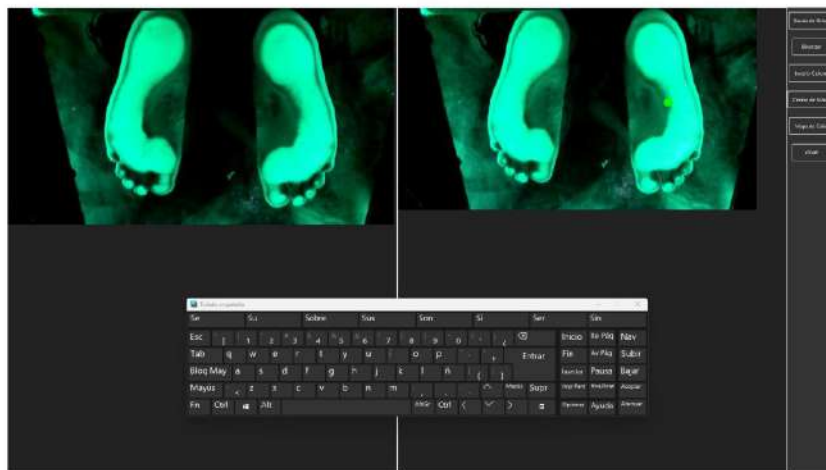


Figura 55

Captura con Filtro Centro de Gravedad

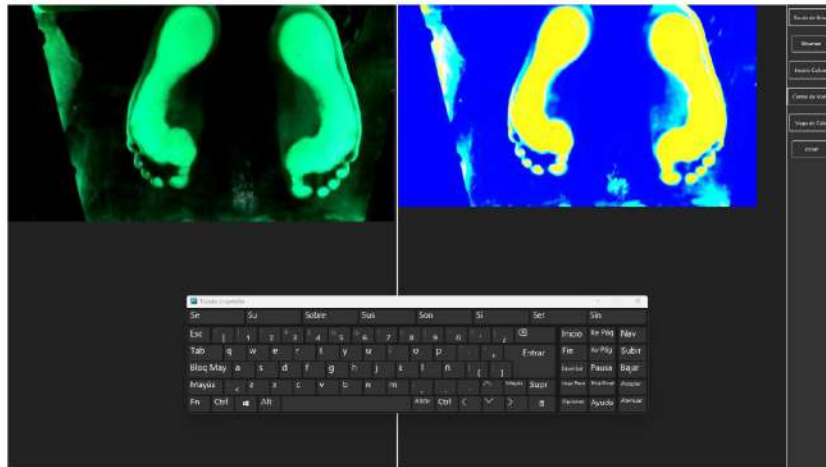


Figura 56

Captura con Filtro Mapa de Color

9. Conclusión de la Prueba



Figura 57

Especialista indicando en que pie ejerce más presión

10. Desinfección necesaria del podoscopio

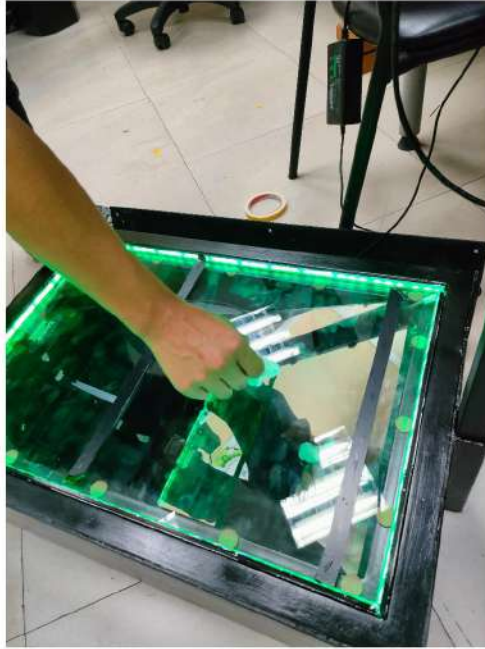


Figura 58

Se desinfecta después de cada uso

11. Desinfección de la zona de trabajo



Figura 59

Se limpia la zona de trabajo para el guardado del equipo

ANEXO 2: Mini Guía

Figura 60

Tríptico.

<p>Guía de uso y recomendaciones para prolongar su uso</p>  <p>Biomedicina</p>	<p>Universidad Politécnica Salesiana</p>  <p>GIB</p> <p>Diego Guanuchi Patricio Ramírez</p>	<p>Recomendaciones</p> <ul style="list-style-type: none">• Cubrir el vidrio del dispositivo al guardarlo• Transportar con cuidado para evitar golpes y abolladuras• No tocar el vidrio con objetos cortopunzantes o ásperos• Limpiar el podoscopio después de cada uso• No mantener en ambientes que exista humedad 
--	--	--

Figura 61

Tríptico.

Guía de usuario	Guía de uso	Guía de mantenimiento
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dar a conocer el procedimiento al paciente 2. Informar sobre posibles riesgos al paciente 3. Informar sobre los beneficios del estudio 4. Dar a conocer sobre los derechos del paciente y protección de los datos 5. Obtener el consentimiento del paciente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar y desinfectar los pies del paciente antes de subirse al piroscopio 2. Abriremos el teclado virtual 3. Abrimos la aplicación, para tener más información de los botones y los procesamientos de imágenes, hacemos clic en el botón de ayuda 4. Limpiar y desinfectar el podoscopio después de cada uso 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Antes de utilizar el equipo verificar las conexiones eléctricas 2. Limpiar el podoscopio después de cada uso con un paño humedecido 3. Evitar contacto prolongado con líquidos 4. Al transportar el equipo es preferible desmontar la pantalla y el microcomputador
		