	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 8

Código de la dependencia.

FECHA	jueves, 28 de febrero de 2019
--------------	-------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Sede Fusagasugá
------------------------	-----------------

TIPO DE DOCUMENTO	Otro Auxiliar de Investigación
--------------------------	-----------------------------------

FACULTAD	Ingeniería
-----------------	------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
---	----------


PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Electrónica
---------------------------	------------------------

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Hernández García	Cristian Andrés	1070617826

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 8

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Roa Guerrero	Edgar Eduardo
Huérfano Zapata	Benjamín Andrés
Cifuentes Guerrero	Pedro Luis

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Desarrollo de un sistema para la identificación de alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar.

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Electrónico

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
26/02/2019	108

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Huella Plantar	Plantar Footprint
2. Hernández Corvo	Hernández Corvo
3. Podoscopio	Podoscope
4. OpenCv	OpenCv
5. Android Studio	Android Studio
6. Laravel	Laravel

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

En la actualidad existen diferentes tipos de técnicas y métodos para el análisis de la huella plantar, desde procedimientos manuales hasta completos sistemas automáticos. La presente investigación nace de la necesidad de cambio en la técnica de análisis de la huella plantar, utilizada por parte de los docentes del programa de Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Educación Física de la Universidad de Cundinamarca.

Mediante la ayuda de las técnicas de visión artificial se planteó el desarrollo de una aplicación móvil que permitiera la automatización del proceso, junto con la construcción e integración de una plataforma podoscópica; reduciendo así los errores de carácter humano y los tiempos de realización del proceso; de igual manera se observó una ausencia en el seguimiento de los exámenes practicados, por consiguiente, se propuso el desarrollo de un aplicativo web para el control y trazabilidad de los exámenes.

Como resultado final se obtuvo la construcción e integración de una plataforma podoscópica utilizando como pieza principal un computador de placa reducida (Banana Pi M3), con una comunicación tipo cliente – servidor con la aplicación desarrollada bajo Android Studio para el procesamiento de las imágenes mediante la librería OpenCv. Adicionalmente mediante el desarrollo del aplicativo web bajo el *framework* Laravel se llevará la trazabilidad de los resultados ayudando a investigaciones futuras.

Una vez culminadas las pruebas y la recolección de exámenes con una muestra de 35 usuarios y un total de 70 huellas plantares se logró identificar una precisión del 74% del dispositivo versus el método manual.

At present, there are different types of techniques and methods for the analysis of the footprint, from manual process to complete automatic systems. The present investigation originates from the need of change in the technique of analysis of the footprint, used by teachers of the degree in Basic Education program with Emphasis in Physical Education of the University of Cundinamarca.

With the help of artificial vision techniques, the development of a mobile application was proposed that would allow the automation of the process, together with the construction and integration of a podoscopic platform; thus reducing errors of a human nature and times of completion of the process; In the same way, an absence was observed in the tracing of the exams practiced, therefore, the development of a web application for the control and traceability of the exams was proposed.

The final result was the construction and integration of a podoscopic platform using as a main piece a reduced plate computer (Banana Pi M3), with a client - server type communication with the application developed under Android Studio for the processing of images through the OpenCv library. Additionally, through the development of the web application under the Laravel framework, the traceability of the results will be taken, helping future research.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 8

Once the tests and the collection of examinations were completed with a sample of 35 users and a total of 70 footprints, an accuracy of 74% of the device versus the manual method was identified.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:
Marque con una "X":



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 8

Autorizo (Autorizamos)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 8

caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI __ NO _X__.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 7 de 8

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 8 de 8

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Desarrollo de un sistema para la identificación de alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar.	PDF
2. Anexos	RAR
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Hernández García Cristian Andres	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ALTERACIONES EN LA POSTURA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA HUELLA PLANTAR

Autor

Cristian Andrés Hernández García

Universidad de Cundinamarca

Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería

Fusagasugá, Colombia

2019

DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ALTERACIONES EN LA POSTURA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA HUELLA PLANTAR

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de ingeniero electrónico

Autor

Cristian Andrés Hernández García

Director

Edgar Eduardo Roa Guerrero

Co-directores

Benjamín Andrés Huérfano Zapata

Pedro Luis Cifuentes Guerrero

Línea de investigación:

Software, sistemas emergentes y nuevas tecnologías

Universidad de Cundinamarca

Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería

Fusagasugá, Colombia

2019

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Fusagasugá ____ de _____ del _____

A mi familia por su fuerza y apoyo.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, las fuerzas y los conocimientos para superar cada meta propuesta en mi vida.

Agradezco a las personas que me han apoyado en toda mi vida; mi familia, quienes con su esfuerzo y consejo han hecho de mi un ser integral.

De la misma manera expreso mi gratitud a los ingenieros Edgar Eduardo Roa, Benjamín Andrés Huérfano y Pedro Luis Cifuentes, por la ayuda que me brindaron, en el último paso para ser llamado al igual que ellos ingeniero electrónico.

Continuando, deseo expresar mi agradecimiento al Dr. Gabriel Montoya por asesorarme en el área de la salud y en el análisis de la huella plantar.

Agradezco a los docentes del programa de ingeniería electrónica, por contribuir a mi formación profesional e integral.

Finalmente, agradezco a todos mis compañeros y aquellos que con paciencia me apoyaron en los momentos más difíciles, brindando su palabra de apoyo y ayuda incondicional. A todos ¡Gracias!

Resumen

En la actualidad existen diferentes tipos de técnicas y métodos para el análisis de la huella plantar, comenzando desde procedimientos manuales hasta completos sistemas autónomos para el análisis de esta. La presente investigación nace de la necesidad de cambio en la técnica de análisis de la huella plantar, utilizada por parte de los docentes del programa de Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Educación Física de la Universidad de Cundinamarca.

El procedimiento llevado actualmente está basado en la aplicación de pigmentos sobre la base del pie para posteriormente ser transferidos a una hoja de papel y ser finalmente analizados bajo el método de Hernández Corvo. Se observa claramente que al ser un proceso manual suele estar sujeto a errores en la medición y los tiempos de realización están delimitados al secado de las muestras y a la destreza del encargado.

Observando la situación anteriormente mencionada y mediante la ayuda de las técnicas de visión artificial se planteó el desarrollo de una aplicación móvil que permitiera la automatización del proceso, junto con la construcción e integración de una plataforma podoscópica; reduciendo así los errores de carácter humano y los tiempos de realización. Una vez analizada la literatura y los antecedentes en el tema se observó que el método de Hernández Corvo suele ser uno de los más utilizados en el mundo, por lo tanto, se optó por conservar cada uno de sus criterios para la evaluación de la huella plantar; de igual manera se observó una ausencia en el seguimiento de los exámenes practicados, por consiguiente, se propuso el desarrollo de un aplicativo web para el control y trazabilidad de los usuarios y sus resultados.

La metodología empleada para el desarrollo de la investigación fue de tipo cascada iniciando como primera fase un análisis de los requerimientos y restricciones del sistema. Seguidamente se realizó el diseño físico y circuital de la plataforma, añadiendo de igual manera los módulos de iluminación y adquisición de imágenes. Una vez culminadas las dos primeras etapas de la metodología se procedió al desarrollo de los algoritmos tanto de la aplicación móvil basada en *Android Studio*, como el aplicativo web construido bajo el *framework* Laravel. Como etapas finales se contempló la prueba y corrección de errores junto con la toma de exámenes finales y el análisis de resultados.

Una vez culminadas las pruebas y la recolección de exámenes con una muestra de 35 usuarios y un total de 70 huellas plantares se logró identificar una precisión del 74% del dispositivo versus el método manual; para la obtención de este porcentaje

se correlacionaron los datos manuales junto con los del dispositivo en un diagrama de dispersión obteniendo un coeficiente de determinación del 0,74.

Como resultado final se obtuvo la construcción e integración de una plataforma podoscópica utilizando como pieza principal un computador de placa reducida (Banana Pi M3), con una comunicación tipo cliente – servidor con la aplicación desarrollada bajo *Android Studio* para el procesamiento de las imágenes mediante la librería *OpenCv*. Adicionalmente mediante el desarrollo del aplicativo web se logrará llevar el control y trazabilidad de los exámenes capturados por la plataforma ayudando a investigaciones futuras.

Tabla de Contenido

Resumen.....	6
Introducción.....	13
1. Capítulo 1: Justificación.....	14
2. Capítulo 2: Marco Teórico.....	15
2.1. Fundamentos Teóricos.....	15
2.1.1. El Pie.....	15
2.1.2. Estructura Ósea del Pie.....	15
2.1.3. Estructura Muscular del Pie.....	16
2.1.4. Estructura Vascular del Pie.....	17
2.1.5. Arcos en el Pie.....	18
2.1.6. Tipos de Pie.....	18
2.1.7. Análisis de la Huella Plantar Mediante el Método de Hernández Corvo 19	
2.1.8. Procesamiento Digital de Imágenes.....	21
2.1.9. La imagen Digital.....	21
2.1.10. Formación de la Imagen digital.....	21
2.1.11. Segmentación en Procesamiento de Imágenes.....	22
2.1.12. Segmentación por Umbralización.....	23
2.1.13. Segmentación por Otsu.....	23
2.1.14. OpenCv.....	24
2.2. Antecedentes.....	24
3. Capítulo 3: Actividades de Investigación.....	37
4. Capítulo 4: Diseño Metodológico.....	39
4.1. Análisis de Requerimientos y Restricciones del Sistema.....	40
4.1.1. Características del Sistema.....	40
4.1.2. Restricciones del Sistema.....	40
4.1.3. Requerimientos Funcionales.....	41
4.1.4. Requisitos no Funcionales.....	41
4.2. Diseño Físico, Lógico y Circuitual del Sistema.....	42
4.2.1. Diseño del Módulo de Iluminación.....	43

4.2.2.	Mejora en el Sistema de Iluminación	43
4.2.3.	Selección del Módulo de Adquisición de Imágenes	44
4.2.4.	Selección del Método de Comunicación	46
4.2.5.	Selección del Módulo de Procesamiento	46
4.2.6.	Diseño Circuital del Sistema	49
4.3.	Implementación del Sistema	52
4.3.1.	Construcción Física del Dispositivo	53
4.3.2.	Mejoras en el Módulo de Captura	54
4.3.3.	Desarrollo de la Aplicación Móvil	56
4.3.4.	Interfaz Gráfica - Aplicación Móvil.....	62
4.3.5.	Diagramas UML - Aplicación Móvil	66
4.3.6.	Desarrollo del Aplicativo Web	68
4.3.7.	Funcionalidades del Aplicativo Web - Interfaz Grafica.....	72
5.	Capítulo 5: Análisis de Resultados	80
6.	Conclusiones	85
	Bibliografía	87
	Anexos	90
	Anexo 1 (Análisis de requisitos IEEE 830) – Adjunto en Formato PDF	90
	Anexo 2 (Estudios Comparativos).....	91
	Anexo 3 (Diseño Circuital del Sistema).....	107
	Anexo 4 (<i>Model Business Process Management</i>).....	108

Lista de Figuras

Figura 1. Partes del pie	15
Figura 2. Estructura ósea del pie.....	16
Figura 3. Estructura muscular del pie.....	17
Figura 4. Esquema del sistema vascular, venoso y linfático del pie.....	17
Figura 5. Arcos del pie	18
Figura 6. Tipos de pie.....	19
Figura 7. Trazos método de Hernández Corvo	20
Figura 8. Representación de una imagen digital	21
Figura 9. Formación de la imagen digital	22
Figura 10. Ejemplo segmentación de áreas cerebrales	22
Figura 11. Ejemplo segmentación por umbralización.....	23
Figura 12. Ejemplo segmentación por umbralización y Otsu	24
Figura 13. Segmentación del iris	25
Figura 14. Funcionamiento básico de un podoscopio	26
Figura 15. Metodología básica de un podoscopio automatizado.....	27
Figura 16. Áreas dentro de la huella plantar según Hernández Corvo.....	27
Figura 17. Proceso habitual para el análisis de la huella plantar.....	29
Figura 18. Podoscopio implementado con Raspberry Pi 3.....	29
Figura 19. Resultados podoscopio con Raspberry Pi 3.....	30
Figura 20. Ejemplo de podoscopio	30
Figura 21. Resultados de podoscopio de ejemplo.....	31
Figura 22. Análisis biomecánico de los miembros inferiores,.....	31
Figura 23. Ejemplo de baropodoscopio.....	32
Figura 24. Resultados obtenidos de baropodoscopio de ejemplo.....	32
Figura 25. Ejemplo de baropodoscopio.....	33
Figura 26. Resultados obtenidos de baropodoscopio de ejemplo.....	33
Figura 27. Ejemplo de plantillas baropodoscópicas	34
Figura 28. Ejemplo de podoscopio junto con baropodoscopio	34
Figura 29. Posicionamiento en baropodoscopio.....	35
Figura 30. Posicionamiento en podoscopio.....	35
Figura 31. Presiones plantares tomadas con un baropodoscopio.....	36
Figura 32. Presiones plantares en 3D	36
Figura 33. Metodología implementada	39
Figura 34. Diseño 3D del Sistema.....	42
Figura 35. Medidas del dispositivo 3D.....	42
Figura 36. Esquema del módulo de iluminación.....	43
Figura 37. Mejoras en el sistema de iluminación.....	44
Figura 38. Diseño circuital del sistema	51
Figura 39. Circuito impreso del sistema	51
Figura 40. Diagrama general del sistema.....	52

Figura 41. Dispositivo implementado - físico.....	53
Figura 42. Disposición de los diferentes módulos del sistema 3D.....	54
Figura 43. Eliminación de iluminación externa	55
Figura 44. Diagrama de flujo eliminación de fuentes de iluminación externas	55
Figura 45. Diagrama de flujo general del procesamiento de la imagen.....	56
Figura 46. Conversión de la imagen a escala de grises.....	57
Figura 47. Resultado de la segmentación de la imagen por Otsu.....	57
Figura 48. Resultado segmentación implementada	58
Figura 49. Diagrama de flujo proceso de segmentación	59
Figura 50. Resultado de la alineación de la huella plantar	60
Figura 51. Resultado ubicación de los puntos fundamentales del método de Hernández Corvo	61
Figura 52. Resultado huella plantar con puntos y trazos fundamentales	61
Figura 53. Visualización de resultados en la aplicación móvil.....	62
Figura 54. Pantalla principal de la aplicación móvil	63
Figura 55. Pantalla búsqueda de paciente y captura de examen.....	64
Figura 56. Pantalla de visualización de examen	64
Figura 57. Pantalla visualización de resultados.....	65
Figura 58. Pantalla sin conexión	66
Figura 59. Diagrama de caso de uso aplicación móvil	66
Figura 60. Diagrama de secuencia inicio de sesión	67
Figura 61. Diagrama de secuencia captura de examen	67
Figura 62. Metodología implementada para el aplicativo web.....	68
Figura 63. Diagrama de casos de uso del sistema.....	71
Figura 64. Modelo entidad relación del sistema	72
Figura 65. Pantalla de ingreso al sistema	73
Figura 66. Pantalla registro de usuario.....	74
Figura 67. Funcionalidades rol administrador.....	74
Figura 68. Funcionalidades rol médico.....	75
Figura 69. Funcionalidades rol paciente.....	75
Figura 70. Pantalla visualización de exámenes.....	76
Figura 71. Visualización de examen con resultados	76
Figura 72. Visualización de informes estadísticos.....	77
Figura 73. Pantalla de administración de usuarios.....	78
Figura 74. Pantalla administración de módulos.....	78
Figura 75. Pantalla generación de diagnósticos.....	79
Figura 76. Huella plantar manual vs dispositivo	80
Figura 77. Gráfico de dispersión	83
Figura 78. Gráfico relación método manual vs automático	84

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de la huella plantar por Hernández Corvo	28
Tabla 2. Actividades como auxiliar de investigación	37
Tabla 3. Comparación cámaras digitales	45
Tabla 4. Comparación métodos de transmisión de datos	46
Tabla 5. Comparación computadoras de placa reducida	48
Tabla 6. Descripción de actores del sistema	69
Tabla 7. Identificación de roles del sistema.....	70
Tabla 8. Resultados manuales vs dispositivo.....	80

Introducción

El pie definido desde su estructura morfológica y ósea está caracterizado por ser el miembro principal y de mayor complejidad de las extremidades inferiores del cuerpo humano. Constituido principalmente por 26 huesos, articulaciones, ligamentos y estructuras nerviosas; y además subdividido en 3 unidades funcionales definidas en retropié, mediopié y antepié (Sepeape Pediatría Integral, 2014), cada una de estas dispuestas para el buen funcionamiento de este y brindar el centro de soporte del cuerpo en general.

Los métodos de análisis y evaluación de la biomecánica del pie y de la huella plantar son considerados una importante ayuda en la identificación de las características morfológicas de la estructura del pie, aportando información notable sobre posibles riesgos futuros en temas de lesiones y afectaciones graves de demás miembros inferiores (Campillos, 2015). En la actualidad el acceso a dispositivos especializados en el análisis de la huella plantar suele estar sujeto a la inversión de considerables cantidades de dinero y el uso de técnicas convencionales y manuales suelen ser las comúnmente empleadas.

La Universidad de Cundinamarca cuenta con las facultades de Ciencias del Deporte y la facultad de Ciencias de la Salud, sin embargo, no presenta acceso a equipos especializados para el análisis y medición de la huella plantar, y las técnicas empleadas para tal fin están siendo manejadas de forma manual. Observando la problemática anteriormente descrita, nace el presente proyecto de investigación con el propósito de desarrollar un sistema para la identificación de alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar basado en técnicas de visión artificial.

Se estableció una metodología de investigación de tipo cascada iniciando con una etapa de análisis de requisitos y culminando con una etapa de validación del dispositivo desarrollado versus el método convencionalmente empleado. Una vez culminadas las correspondientes etapas de desarrollo, se logró cumplir el objetivo del proyecto, brindando una herramienta para el análisis de la huella plantar y la sustitución del método manual dentro de la Universidad de Cundinamarca.

1. Capítulo 1: Justificación

La importancia en el buen funcionamiento de cada parte y órgano del cuerpo humano, al igual que su buena interacción es primordial para conservar un buen estado de salud y la prevención de enfermedades futuras (Cámara Pérez, 2010); es de gran importancia el chequeo periódico de nuestro estado físico y no es correcto como en algunos casos deslegitimar partes esenciales como lo son el conjunto de pie-tobillo, siendo estas el centro de apoyo del cuerpo en general.

El aumento en el número de casos de alteraciones en la huella plantar en poblaciones infantiles y juveniles debido a la práctica de malos hábitos alimenticios y deportivos (Tamayo Ortiz, 2018), han generado la preocupación de repercusiones a mediano y largo plazo en estructuras osteoarticulares de los miembros inferiores, así mismo, como en la función motriz por la presencia de dolores musculares crónicos y la disminución del desempeño físico de los sujetos afectados por esta situación.

Aunque en la actualidad el análisis de la huella plantar suele ser un procedimiento comúnmente empleado por deportistas, médicos e interesados en los temas de las ciencias del deporte y la salud; no existe herramientas asequibles por motivos de costos y los métodos manuales son los comúnmente utilizados para tal fin. De manera análoga la problemática evidenciada está presente en centros educativos y en este caso particular dentro de la Universidad de Cundinamarca donde no existe la presencia de dispositivos eficaces para el análisis de la huella plantar de su comunidad.

Es preciso señalar que los métodos manuales suelen estar sujetos a errores en la medición debido al carácter humano y a la destreza del encargado. Además, las técnicas manejadas actualmente son poco eficientes en términos de desperdicio de papel, tintas, agua y tiempo. El desarrollo de una herramienta o dispositivo automático para el análisis de la huella plantar dentro de la Universidad de Cundinamarca permitirá un análisis y seguimiento de su población en términos de alteraciones en la huella plantar; así mismo fortalecerá el campo de la investigación social por parte de los programas de ciencias del deporte en comunidades externas como las escolares.

2. Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Fundamentos Teóricos

2.1.1. El Pie

El pie es una parte osteoarticular del cuerpo humano que se encuentra compuesta desde la punta de los dedos hasta el tobillo. Su función principal es la de permitir al ser humano sostener todo su cuerpo y la locomoción de este, es decir, el caminar (Revista educativa Partesdel.com, equipo de redacción profesional. , 2017).

Figura 1. Partes del pie



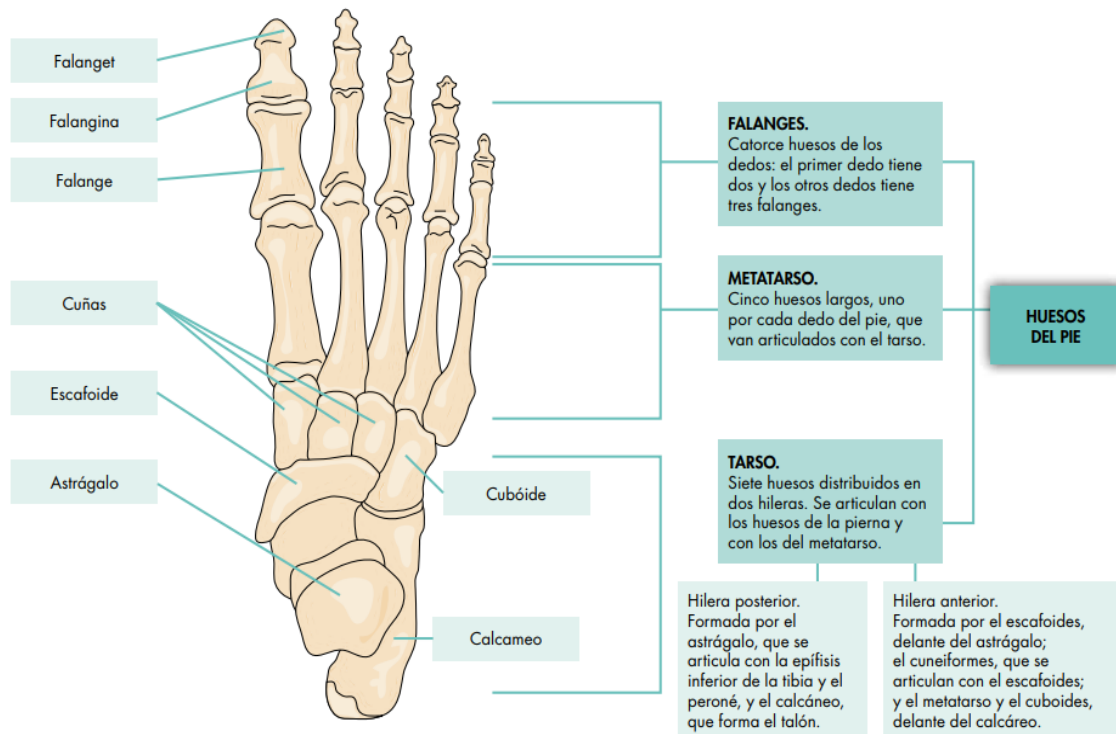
Tomado de: (Clínica Martín Gómez, s.f.)

2.1.2. Estructura Ósea del Pie

El pie desde su estructura ósea está compuesto principalmente por 26 huesos entrelazados por pequeñas articulaciones y dividido en tres grupos: tarso, metatarso y falanges. La ubicación y disposición de los diferentes huesos del pie compuestos en los grupos del tarso y metatarso forman el denominado arco del pie (McGraw-Hill Education).

Como se puede observar en la Figura 2 se evidencia cada uno de los tres grupos de la estructura ósea del pie y su respectiva ubicación y conformación.

Figura 2, Estructura ósea del pie



Tomado de: (McGraw-Hill Education)

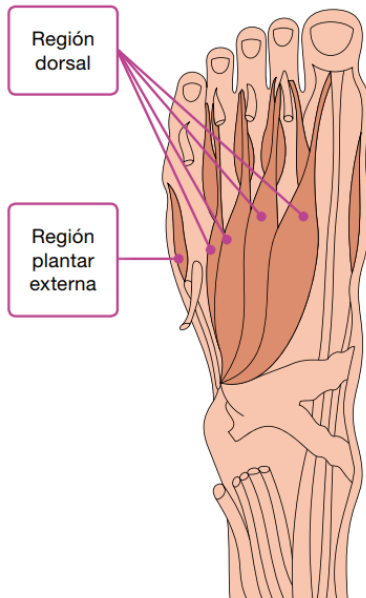
2.1.3. Estructura Muscular del Pie

El arco formado en la planta del pie por los huesos compuestos en los grupos del tarso y metatarso es sostenido por diferentes tipos de ligamentos y tendones largos los cuales se encuentran tensos como una cuerda para lograr la formación de este.

La estructura muscular del pie está compuesta por veinte músculos distribuidos en cuatro regiones: región dorsal, región plantar interna, región plantar externa y región plantar media. La región dorsal está compuesta por el músculo pedio el cual se divide en cuatro ramificaciones y se sitúa en las falanges de los cuatro primeros dedos del pie excluyendo el meñique. La composición de la región plantar interna está conformada por los músculos abductor y aductor del primer dedo del pie.

En la región plantar externa se encuentran los músculos abductor y flexor corto de la primera falange del quinto dedo (meñique), además se encuentra el músculo oponente que desplaza el quinto dedo hacia dentro y hacia abajo. En la región plantar media se encuentra la mayor cantidad de músculos del pie, los cuales tienen como función principal realizar los movimientos de extensión y flexión de las falanges.

Figura 3. Estructura muscular del pie

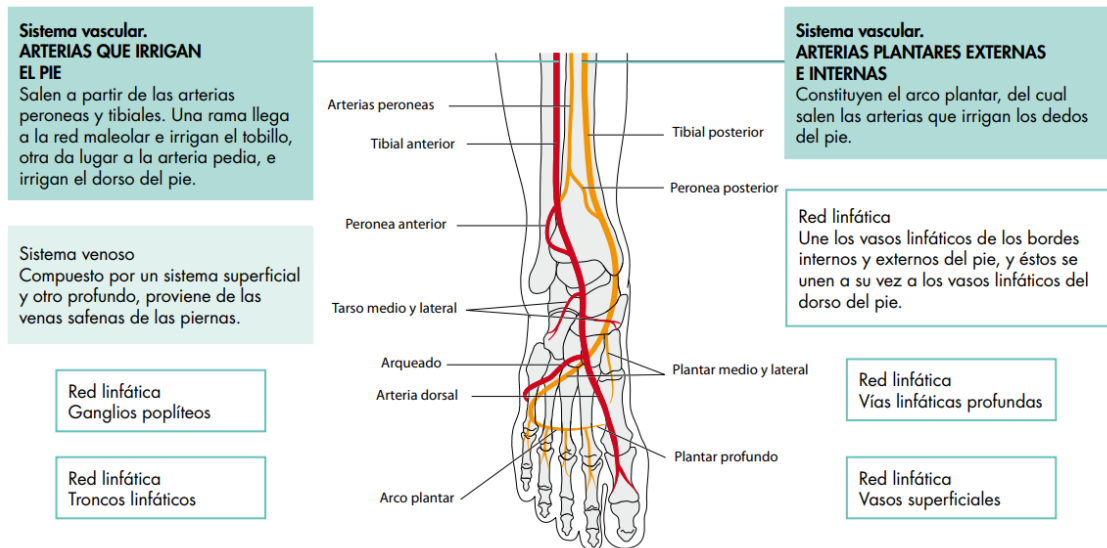


Tomado de: (McGraw-Hill Education)

2.1.4. Estructura Vascular del Pie

La estructura vascular del pie está compuesta por un conjunto de venas, arterias y una red linfática compuesta principalmente por los ganglios poplíteos como se muestra en la Figura 4. La función de este sistema vascular es llevar la sangre de los capilares sanguíneos hacia el corazón transportando allí desechos y CO₂, para ser nuevamente retornada por medio de las arterias una vez oxigenada.

Figura 4. Esquema del sistema vascular, venoso y linfático del pie.



Tomado de: (McGraw-Hill Education)

2.1.5. Arcos en el Pie

La planta del pie tiene tres arcos principales, un arco anterior, un arco externo y un arco interno, estos arcos, tiene que estar adecuadamente equilibrados para conseguir un apoyo perfecto del pie tanto al andar como al estar de pie (González, s.f.).

Los arcos del pie se ven sometidos a grandes fuerzas y el desequilibrio de estas puede llevar a la alteración del tipo de pie que tengamos y con ello demás alteraciones en miembros inferiores, existen diversos desequilibrios que pueden darse en la planta del pie estos debido a malos hábitos alimenticios, postulares y deportivos (González, s.f.).

Figura 5. Arcos del pie



Tomado y modificado de: (González, s.f.)

2.1.6. Tipos de Pie

- **Pie Cavo:** Los pies cavos son en los que los arcos de la bóveda plantar se ven aumentadas. Existen tres tipos de pies cavos según Kapanji (pie cavo posterior, anterior y medio) y cada uno tiene unas características y causas diferenciadas (González, s.f.).

- **Pie Plano:** En este tipo de pie los arcos de la bóveda plantar caen parcial o totalmente, puede formarse por la debilidad de sus medios naturales es decir una insuficiencia en el sostén de los músculos y ligamentos (González, s.f.).
- **Pie Normal:** Estos tipos de pie suelen ser difíciles en ser encontrados debido al equilibrio que debe existir entre los tres arcos del pie humano. (González, s.f.)

Figura 6. Tipos de pie



Tomado de: (Luengas, Díaz, & González, 2016)

2.1.7. Análisis de la Huella Plantar Mediante el Método de Hernández Corvo

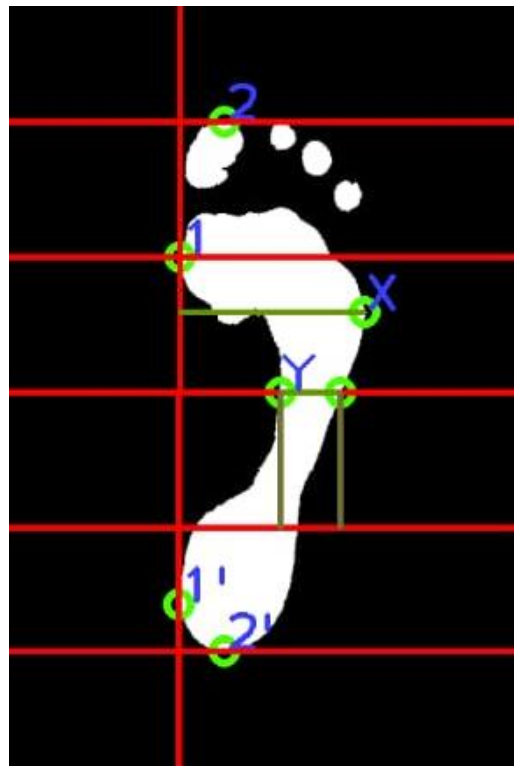
El método de Hernández Corvo suele ser uno de los métodos comúnmente utilizados para el análisis de la huella plantar actualmente; el método mencionado consiste en el tipificar el pie según las medidas obtenidas con la toma de la imagen de la huella plantar (Garavito, 2016); el resultado final una vez aplicado este método es una clasificación de la huella plantar en 7 posibles categorías que abarcan desde el pie plano hasta el pie cavo extremo (Hernández Corvo, 1989).

La técnica empleada para la obtención de las huellas plantares puede variar según el interesado en el examen; entre las más comunes se destaca: la técnica del fotopodograma en el cual es utilizado un papel fotográfico para la transferencia de esta; entre otras técnicas se encuentra el uso de un instrumento denominado pedigrafo el cual cuenta con la forma de un libro y es exclusivo para esta medición, finalmente la técnica comúnmente empleada por su bajo costo es el uso de tinta de estampación o pintura para dedos, contando esta con el inconveniente de tener que limpiar el pies una vez finalizada la muestra.

El procedimiento llevado a cabo para el análisis de la huella plantar bajo el método de Hernandez Corvo esta dado por una serie de pasos enlistados a continuación:

- Se marcan dos puntos en las prominencias más internas de la huella plantar (1 y 1'), con estos dos puntos se realiza el trazo inicial el cual une los dos puntos anteriormente encontrados.
- Posteriormente se marca el punto más superior (incluyendo los dedos) y el punto más inferior de la huella, siendo estos los puntos 2 y 2' correspondientemente.
- Se trazan perpendiculares a estos últimos puntos respecto al trazo inicial. La distancia entre la perpendicular del punto 2 y el punto 1 es denominada la medida fundamental, y debe ser repetida tantas veces sea posible sobre el trazo inicial (3,4,5).
- Se traza una perpendicular a la línea 3, pasando por la parte más externa de la huella; posteriormente otra perpendicular a 4 y otra a 5 pasando también por la parte más externa (6, 7 y 8 respectivamente).
- La distancia entre el trazo inicial y 6 es denominada X (ancho del metatarso); la distancia entre 9 y 7 es denominada Y (arco externo, superficie de apoyo mediopié).
- Con los valores de X y Y se procede al cálculo del índice de corvo ($\%IC=100*[X-Y]/X$) y su respectiva clasificación.

Figura 7. Trazos método de Hernández Corvo



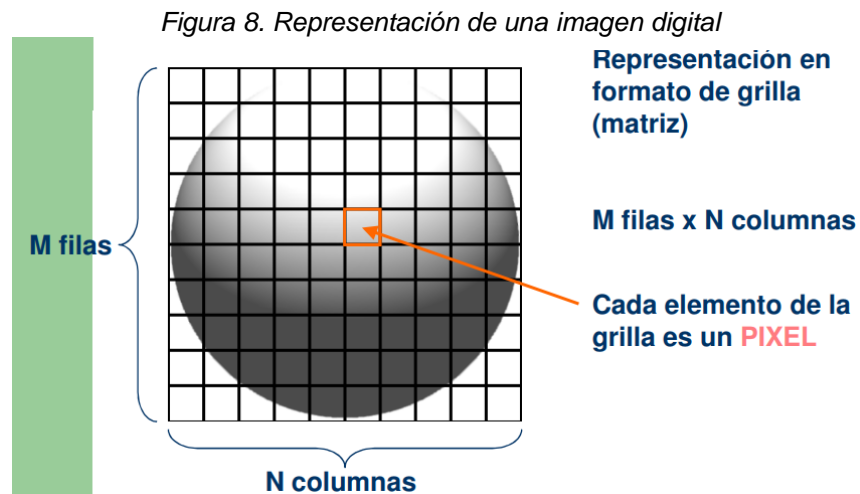
Fuente: Autor

2.1.8. Procesamiento Digital de Imágenes

El procesamiento de imágenes digitales, en términos generales, envuelve al reconocimiento de imágenes 2D, 3D y secuencias de imágenes aplicando sobre estas un análisis, manipulación, transmisión y otros procedimientos relacionados. Entre los procesos llevados comúnmente en esta área se encuentran: transformaciones de intensidad y filtros espaciales, procesamiento en el dominio de la frecuencia, restauración de imágenes, procesamiento del color, ondículas, compresión de imágenes digitales, procesamiento morfológico, segmentación, representación y descripción, reconocimiento de formas y objetos.

2.1.9. La imagen Digital

La imagen digital a grandes rasgos es la conformación de una serie de matrices numéricas de ceros y unos que se almacenan en una memoria informática y que definen las características de una fotografía (FotoNostra, s.f.).



Tomado de: (Wainschenker, Massa, & Tristan)

Este tipo de matrices puede variar según el tipo de imagen con la que se cuenta; siendo entre las más populares la imagen RGB, la cual está compuesta por una matriz tridimensional de $N \times M$ posiciones según la resolución de la imagen y tomando valores entre 0 y 255.

2.1.10. Formación de la Imagen digital

El proceso de formación de una imagen digital obtenida a través de una cámara está fundamentado bajo el principio físico en el que la luz que detecta el objetivo de

la cámara pasa por el objetivo, atraviesa algunos filtros (depende del modelo de cámara) y llega hasta el sensor de imagen, denominado CCD, que formado por multitud de receptores fotosensibles, llamados "fotodiodos" convierten la luz en pulsos eléctricos para ser finalmente convertidos a bits y formar un archivo digital (FotoNostra, s.f.).

Figura 9. Formación de la imagen digital



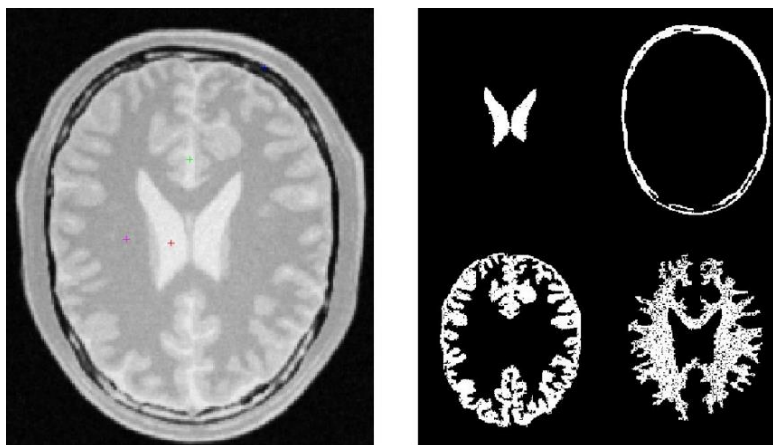
Tomado de: (FotoNostra, s.f.)

2.1.11. Segmentación en Procesamiento de Imágenes

La segmentación permite identificar y aislar áreas de interés llamativas o estructuras específicas en las imágenes, para centrar el análisis en dichas áreas; este tipo de procesos se ven comúnmente en aplicaciones médicas, industriales, reconocimientos faciales, procesos de calidad en alimentos, etc.

Como se muestra en la Figura 10 se puede observar la segmentación de diferentes áreas del cerebro basándose en la imagen obtenida a partir de una tomografía computarizada, se puede demostrar claramente en el siguiente ejemplo la aplicación del procesamiento de imágenes en aspectos como la medicina.

Figura 10, Ejemplo segmentación de áreas cerebrales



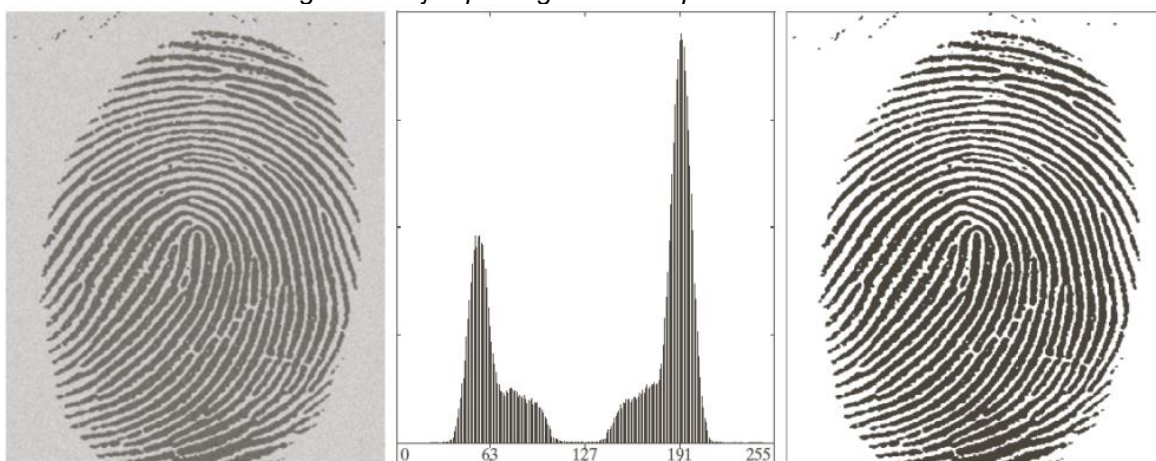
Tomado de: (Universidad Politécnica de Madrid)

2.1.12. Segmentación por Umbralización

Un método básico para diferenciar un objeto del fondo de la imagen es mediante binarización. Para lograr tal fin es necesario realizar una conversión de la imagen a escala de grises y mediante un histograma se obtiene una gráfica donde se muestran el número de píxeles por cada nivel de gris que aparece en la imagen.

Una vez obtenido el histograma con los diferentes valores de cantidad de píxeles por nivel de gris, se escoge el mayor valor (umbral) y mediante el uso de ciclos for se recorre la imagen para discriminar aquellos píxeles diferentes al umbral.

Figura 11. Ejemplo segmentación por umbralización



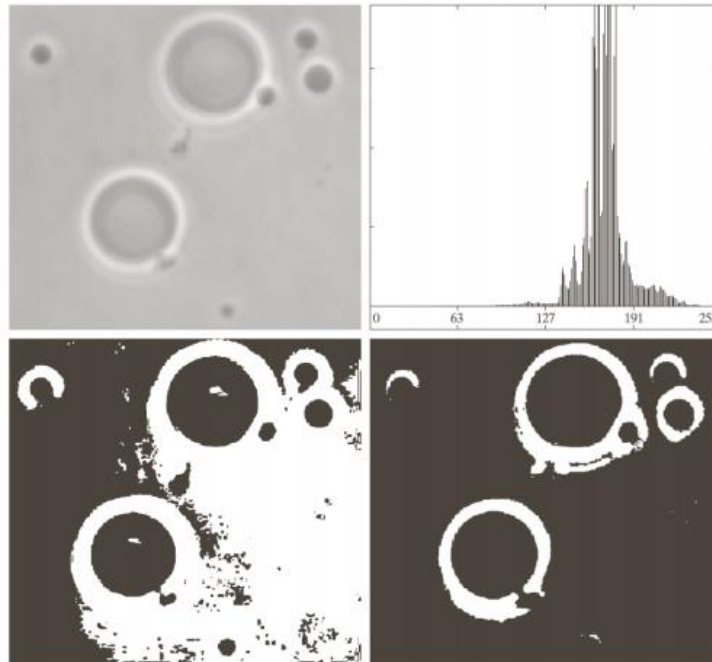
Tomado de: (Wainschenker, Massa, & Tristan)

2.1.13. Segmentación por Otsu

El método de Otsu, llamado así en honor a Nobuyuki Otsu que lo inventó en 1979, utiliza técnicas estadísticas, para encontrar el umbral de segmentación óptimo de forma automática. En concreto, utiliza la medida estadística de la varianza, que es una medida de la dispersión de valores (en este caso particular se trata de la dispersión de los niveles de grises).

En la Figura 12 se puede observar el proceso de segmentación de una imagen por medio del método de umbralización y por el método de Otsu, observando claramente una eficiencia en el método desarrollado por Nobuyuki Otsu en 1979; donde en el resultado con el método de umbralización no es el esperado y son segmentadas áreas de no interés. Se observa en primer lugar la imagen original en escala de grises, en segunda parte el histograma obtenido de la imagen y finalmente los dos resultados obtenidos tras utilizar umbralización y Otsu.

Figura 12. Ejemplo segmentación por umbralización y Otsu



Tomado de: (Wainschenker, Massa, & Tristan)

2.1.14. OpenCv

OpenCv es una biblioteca de visión artificial publicada bajo una licencia BSD, por lo tanto, es gratis para uso académico y comercial. Fue desarrollada originalmente por Intel y lanzada en su primera versión alfa el mes de enero de 1990. Es una biblioteca desarrollada en interfaces C ++, Python y Java y además es compatible con Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android (Furfaro, 2010).

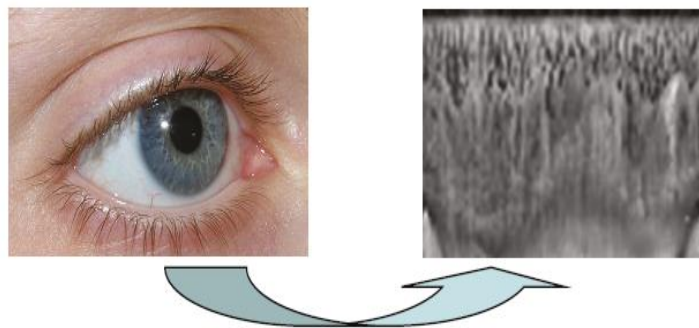
2.2. Antecedentes

El constante aumento y auge en el desarrollo de software y procesamiento de imágenes ha permitido el desarrollo de diferentes procesos orientados hacia diferentes ámbitos como el médico. En la actualidad es de gran importancia el desarrollo de nuevas tecnologías y algoritmos de mayor eficiencia y velocidad; cabe destacar los estudios realizados por el autor Geert Litjens junto con sus compañeros en los Países Bajos en el 2017 (Litjens, y otros, 2017) donde lograron concluir que el uso de redes neuronales convolucionales, se han convertido rápidamente en una metodología de elección para analizar imágenes médicas logrando mejores resultados respecto a otras técnicas; estos autores se basaron en el estudio de 308 artículos todos orientados a aplicaciones de medicina como análisis de patologías

neuronales, retinianas, pulmonares, de mama, cardíacas, abdominales y musculoesqueléticas.

Uno de los aspectos de mayor relevancia al momento del análisis de imágenes mediante el uso de software es la velocidad de procesamiento por lo que es de gran importancia evaluar las características físicas de los dispositivos implementados y realizar una comparación respecto a otras tecnologías desde el punto del *hardware* ofreciéndonos mejores rendimientos, como es el caso del uso FPGA vs un procesador heterogéneo multinúcleo (CELL), donde la tecnología FPGA logró una velocidad de 2,5 veces mayor a la tecnología CELL a la hora de realizar el procesamiento de la imagen del iris de una persona (Rakvic, Ngo, Broussard, & Ives, 2010). Como se muestra en la Figura 13 se logró extraer parte de la corteza del iris para ser procesada posteriormente con la FPGA.

Figura 13. Segmentación del iris



Tomado de (Rakvic, Ngo, Broussard, & Ives, 2010)

Desde otro punto de vista pero tomando como referencia el argumento expuesto anteriormente, el uso y aprovechamiento de la GPU de los diferentes dispositivos ha permitido la obtención de velocidades mayores de procesamiento de imágenes o video de alta resolución en tiempo real (Chen, Paris, & Durand, 2007); siendo esta una tecnología aún poco desarrollada, pero con grandes expectativas, por las cualidades que ofrece, cabe destacar un estudio realizado sobre el uso de GPU en aplicaciones tomografía computarizada de rayos X logrando la reconstrucción de imágenes de alta calidad a partir de las proyecciones tomadas a la hora de la aplicación del examen; una vez realizados los correspondientes algoritmos usando GPU lograron observar una alta eficiencia y como principal cualidad una reducción de costos notable respecto a los equipos actuales para tal fin (Flores, Vidal, Mayo, Rodenas, & Verdú, 2014).

Durante la revisión bibliográfica realizada se pudo observar que el desarrollo de dispositivos orientados al análisis de la huella plantar ha aumentado en los últimos años debido a la importancia del análisis de esta y a la necesidad del cambio de procesos manuales y empíricos a automáticos. El desarrollo de estos dispositivos

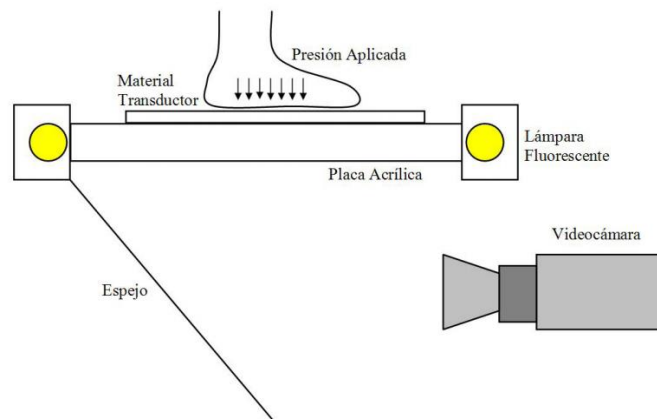
ha sido clasificado en dos grupos: Podoscopios (Orientados al estudio de la forma de la huella plantar) y Baropodoscopios (Orientados a la presión ejercida en las diferentes partes de la huella plantar).

2.2.1.1. Desarrollo de Podoscopios

La medida de la huella plantar es fundamental para conocer la distribución de las fuerzas en la planta del pie. Estos valores son importantes para el diagnóstico y tratamiento de diferentes patologías como úlceras diabéticas en la planta del pie y presencia de deformidades en extremidades inferiores, entre otras (Díaz, Torres, Ramírez, García, & Álvarez, 2006).

El principio básico de funcionamiento de un Podoscopio está basado en el uso de una superficie translúcida (vidrio generalmente), que permite actuar como transductor para posteriormente ser tomada la imagen con la ayuda de una cámara este funcionamiento se encuentra plasmado en la Figura 14; en estos dispositivos es de gran importancia una buena iluminación de la escena, la cual puede ser utilizada desde diferentes puntos o técnicas; por ejemplo aplicando una iluminación estructurada que resulta ser eficiente para caracterizar la superficie de objetos opacos, logrando con esta cualidad caracterizar la morfología forma de la huella plantar (Yeras, 2013).

Figura 14. Funcionamiento básico de un podoscopio

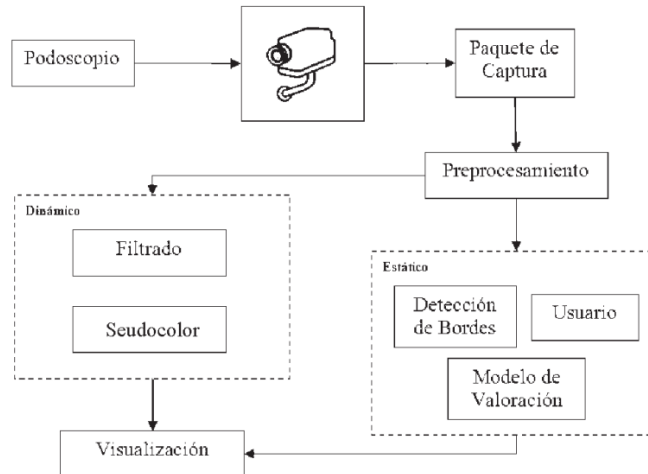


Tomado de: (Díaz, Torres, Ramírez, García, & Álvarez, 2006)

Desde el punto del procesamiento de la imagen como se muestra en la Figura 15, una vez ya tomada la imagen se procede a realizar una serie de pasos que incluyen aplicación de filtros, segmentación, ajuste de contraste, detección de bordes, etc. La aplicación de uno o el otro variará dependiendo del diseñador del sistema y de la calidad de la imagen captada; la mayor parte de estos procesos están basados en técnicas estadísticas como es el caso del uso de la distribución de Poisson para

realizar una segmentación de la imagen (Chen & He, 2013) (Buchelly, Mayorca, Ballarín, & Pastore, 2016). Con estas técnicas se busca una mejora en la imagen captada, para posteriormente mediante el análisis y el procesamiento obtener mejores resultados.

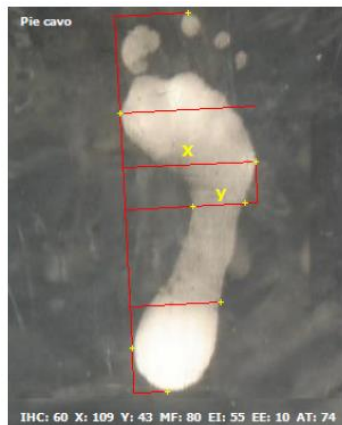
Figura 15. Metodología básica de un podoscopio automatizado



Tomado de: (Díaz, Torres, Ramírez, García, & Álvarez, 2006)

La creación y uso de un Podoscopio permite realizar un análisis de la huella plantar analizando su forma y área de presión con la superficie logrando así una clasificación de este; el método más famoso y usado actualmente es el método de clasificación de la huella plantar de Hernández Corvo el cual consiste en la obtención de diferentes áreas dentro de la huella plantar y así obtener un índice mediante una ecuación específica como se muestra en la Figura 16, donde se muestra los diferentes trazos que se deben realizar para posteriormente la clasificación del tipo de pie con la ecuación número 1 y la tabla de clasificación.

Figura 16. Áreas dentro de la huella plantar según Hernández Corvo



Tomado de: (Díaz, Torres, Ramírez, García, & Álvarez, 2006)

La ecuación empleada para el desarrollo del análisis mediante el método de Hernández Corvo se muestra a continuación donde intervienen los valores de “X” y “Y” encontrados con los diferentes trazos propuestos por el método ya mencionado.

$$\%IC = \frac{X - Y}{X} \quad (1)$$

Una vez calculado el índice de Hernández Corvo con los datos correspondientes a la huella plantar analizada, se procede a la clasificación de esta, agrupándola en una de las 7 categorías propuestas por este método como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la huella plantar por Hernández Corvo

% de Corvo	Clasificación
0 - 34	Pie Plano
35 – 39	Pie Plano – Normal
40 – 54	Pie Normal
55 – 59	Pie Normal – Cavo
60 -74	Pie Cavo
75 – 84	Pie Cavo Fuerte
85 - 100	Pie Cavo Extremo

Fuentes: (Díaz, Torres, Ramírez, García, & Álvarez, 2006), (Hernández Corvo, 1989)

Es muy popular encontrar podoscopios de buen desempeño en el mercado, pero a un precio demasiado elevado por lo que muchas investigaciones han sido orientadas al diseño y fabricación de Podoscopios de bajo precio, pero con resultados fiables.

Un grupo de estudiantes de la Universidad Politécnica de Sinaloa en México (Maestre Rendon, y otros, 2017) decidieron crear un podoscopio de bajo costo logrando obtener buenos resultados. En su artículo se plantea que debido a que un podoscopio profesional es de tan elevado costo la mayor parte de los médicos realizan un análisis manual mediante el uso de tinta y una hoja de papel como se muestra en la Figura 17.

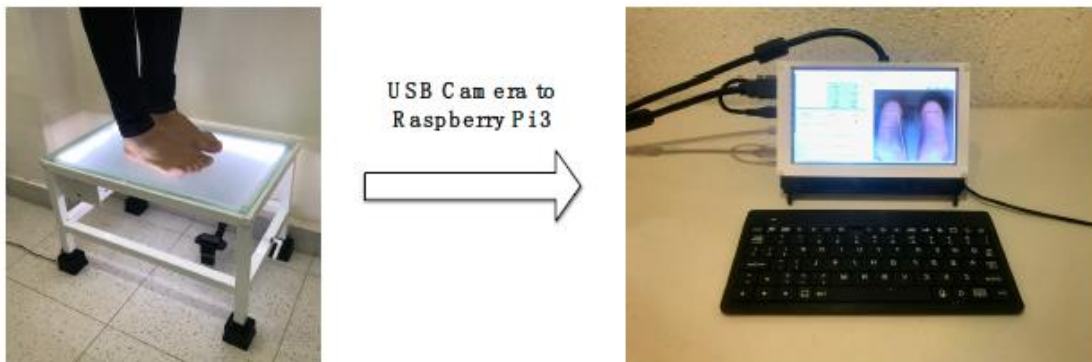
Figura 17. Proceso habitual para el análisis de la huella plantar



Tomado de: (Maestre Rendon, y otros, 2017)

La solución desarrollada por este grupo de investigadores radicó en la construcción de una plataforma que permita la captación de la huella plantar y con la ayuda de una Raspberry Pi 3 obtener un procesamiento de esta; la metodología utilizada se muestra en la Figura 18.

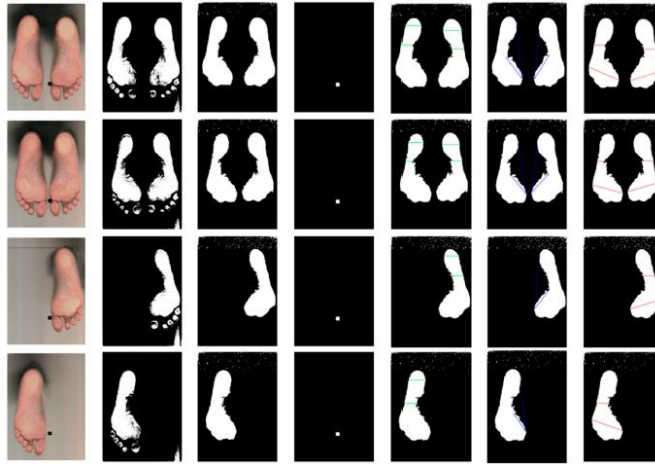
Figura 18. Podoscopio implementado con Raspberry Pi 3



Tomado de: (Maestre Rendon, y otros, 2017)

En la Figura 19 se muestra los resultados obtenidos y las correspondientes etapas de segmentación implementadas en el sistema; de igual forma se muestra que se realizó una extracción de cada pie para su posterior análisis y el uso de un cuadro estático de área específica como guía para determinar áreas dentro de la huella plantar.

Figura 19. Resultados podoscopio con Raspberry Pi 3



Tomado de: (Maestre Rendon, y otros, 2017)

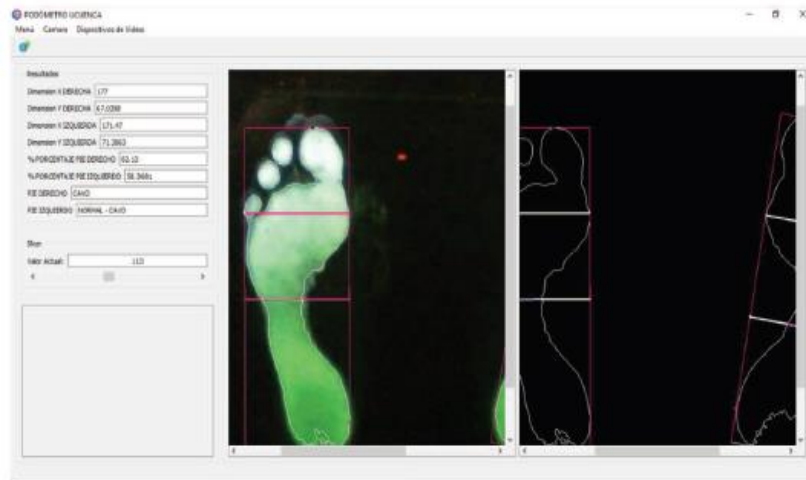
Otro claro ejemplo de la necesidad de construcción de un podoscopio de bajo costo fue expuesto por un grupo de investigadores en Ecuador (Pineda López, Guerra, Montes, & Benítez, 2016) logrando obtener una captura de la huella plantar totalmente diferentes a las anteriores utilizando un vidrio a 45 grados para la reflexión de las huellas en este y reducir la altura de la plataforma. Lograron obtener resultados eficientes mediante un procesamiento sencillo de la imagen con el desarrollo de una aplicación orientada a escritorio en Matlab, capaz de determinar las dimensiones “X” y “Y” de cada pie, porcentaje de corvo en cada extremidad y de igual forma su clasificación como se muestra en las figuras 20 y 21, luego de observar los resultados obtenidos en la investigación a diferentes individuos se evidenció que no necesariamente se obtiene el mismo tipo de pie en cada extremidad.

Figura 20. Ejemplo de podoscopio



Tomado de: (Medina, Zeas, Morocho, & Bautista, 2017)

Figura 21. Resultados de podoscopio de ejemplo



Tomado de: (Medina, Zeas, Morocho, & Bautista, 2017)

Abordando un punto de vista más amplio un grupo de autores de la Universidad José do Rosário Vellano de Brasil (Trombini Souza, Ribeiro, Lunes, & Monte Raso, 2009), nos presenta un estudio en el cual no solo se estudia la forma de la huella plantar sino además nos plantea la importancia del estudio de los miembros inferiores (pie, talón, tobillo, tibia y peroné) a la hora de prevenir y corregir problemas biomecánicos de un individuo. La metodología utilizada consistió en la detección de diferentes marcadores ubicados en diferentes partes del pie, talón, tobillo, tibia y peroné para posteriormente determinar diferentes ángulos para un posteriormente diagnóstico como se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Análisis biomecánico de los miembros inferiores,



Tomado de: (Trombini Souza, Ribeiro, Lunes, & Monte Raso, 2009)

2.2.1.2. Desarrollo de Baropodoscopios

La principal cualidad de los podoscopios es la clasificación de la huella plantar según su forma y área, mas no toma en cuenta las presiones ejercidas en las diferentes zonas del pie humano, por lo cual ha permitido el desarrollo de nuevos dispositivos denominados baropodoscopios para tal fin.

Un grupo de estudiantes de Ecuador (Pineda López, Guerra, Montes, & Benítez, 2016), dentro de sus investigaciones decidieron realizar la construcción de una plantilla como se muestra en la Figura 23, que permita la captura de la presión del pie a la hora de caminar con la ayuda de un Arduino Uno para la recolección de los datos y el uso de galgas extensiométricas para la medición.

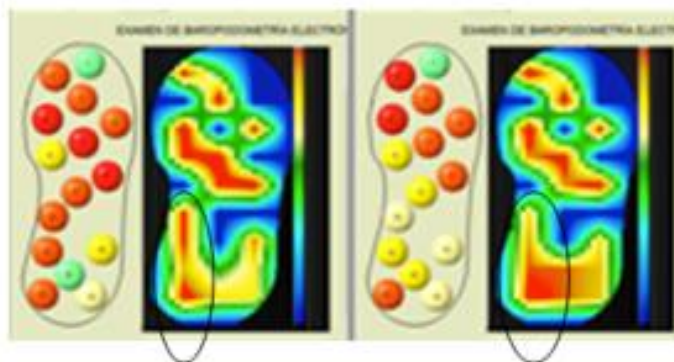
Figura 23. Ejemplo de baropodoscopio



Tomado de: (Pineda López, Guerra, Montes, & Benítez, 2016)

Al realizar una transducción de las presiones obtenidas los autores lograron obtener una imagen de la huella plantar, pero debido al uso de tan pocos sensores no se logra obtener una imagen de buena resolución como es expuesto en la figura 18.

Figura 24. Resultados obtenidos de baropodoscopio de ejemplo



Tomado de: (Pineda López, Guerra, Montes, & Benítez, 2016)

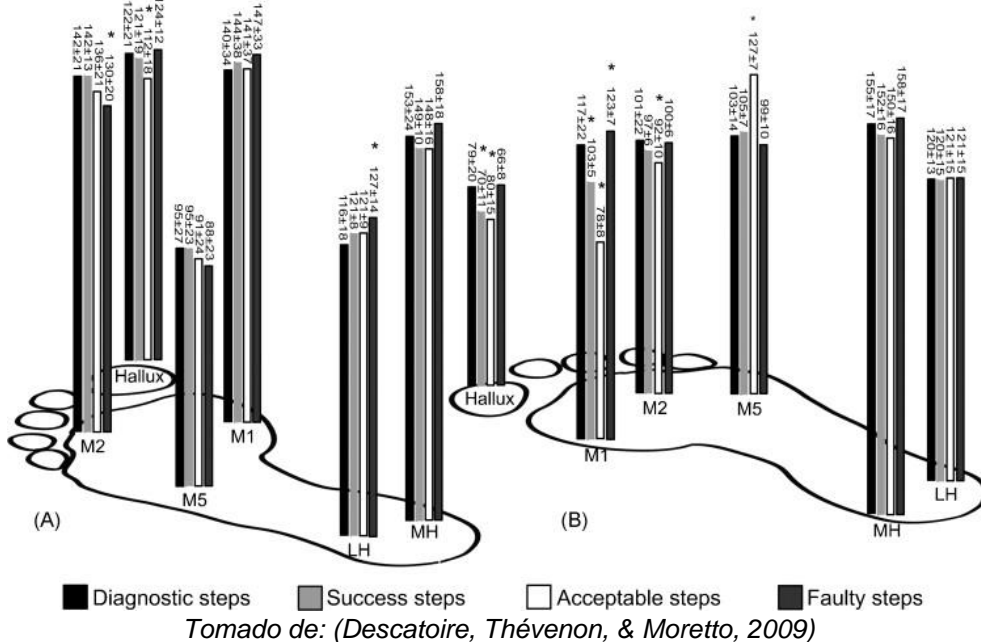
De igual manera diferentes autores (Descatoire, Thévenon, & Moretto, 2009), (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016) en otras investigaciones han planteado el desarrollo de dispositivos similares obteniendo resultados con los mismos problemas de resolución. En las figuras 25, 26 y 27 se muestra el dispositivo desarrollado que de igual forma consta de un sistema de adquisición de datos junto con sensores de presión. En la figura 19 se muestra los diferentes puntos de presión censados y los valores obtenidos por los transductores o sensores.

Figura 25. Ejemplo de baropodoscopio



Tomado de: (Descatoire, Thévenon, & Moretto, 2009)

Figura 26. Resultados obtenidos de baropodoscopio de ejemplo



Tomado de: (Descatoire, Thévenon, & Moretto, 2009)

Figura 27. Ejemplo de plantillas baropodoscópicas



Tomado de: (Descatoire, Thévenon, & Moretto, 2009)

Por otra parte, en la tesis expuesta por un par de estudiantes de la Universidad Distrital de Colombia en el 2016 (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016), se expone la fabricación de un podoscopio junto con baropodoscopio logrando con esto realizar una interpolación de resultados y llegar un análisis plantar de mayor precisión. En las figuras 28, 29 y 30 se evidencia el dispositivo desarrollado y su funcionamiento el cual consta de la adquisición de una primera medida con el baropodoscopio y posteriormente se procede a la toma de la huella plantar con el podoscopio.

Figura 28. Ejemplo de podoscopio junto con baropodoscopio



Tomado de: (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016)

Figura 29. Posicionamiento en baropodoscopio



Tomado de: (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016)

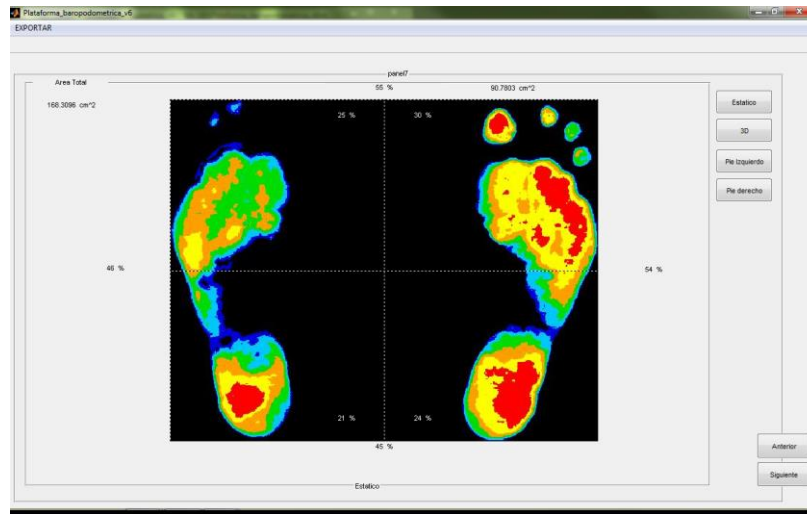
Figura 30. Posicionamiento en podoscopio



Tomado de (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016)

Una vez realizadas las correspondientes mediciones y captura de imágenes y con la ayuda de MATLAB y el desarrollo de un GUI se procede a realizar las correlaciones del podoscopio y el baropodoscopio como se muestra en la Figura 31, obteniendo una imagen de excelente calidad para su análisis y determinación del índice de corvo.

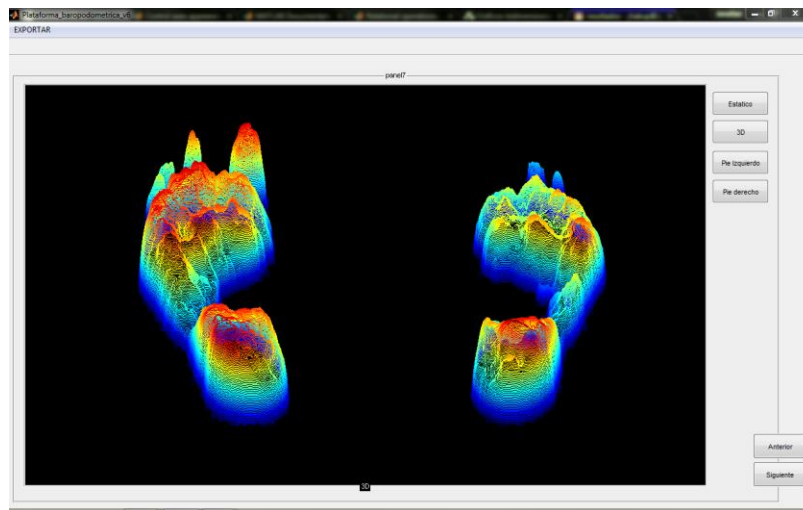
Figura 31. Presiones plantares tomadas con un baropodoscopio



Tomado de: (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016)

Gracias al uso de un baropodoscopio es posible la construcción de una imagen en 3D con las presiones ejercidas en cada parte de la huella plantar como se muestra en la Figura 32.

Figura 32. Presiones plantares en 3D



Tomado de: (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016)

3. Capítulo 3: Actividades de Investigación

De conformidad con lo aprobado por la dirección de investigaciones de la Universidad de Cundinamarca y sus modalidades de trabajo de grado definidas dentro del reglamento estudiantil, se desarrolló la presente investigación bajo la modalidad de Auxiliar de investigación, firmando bajo cumplimiento el desarrollo de las actividades a continuación estipuladas (Tabla II).

Tabla 2. Actividades como auxiliar de investigación

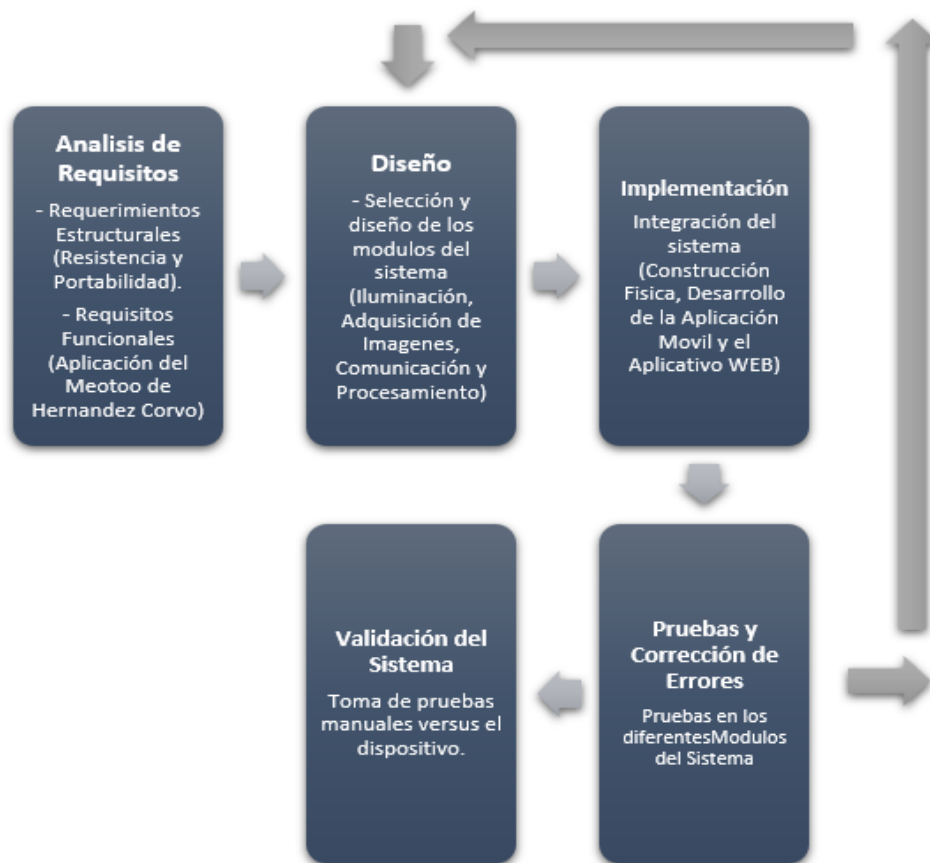
No.	Actividad	Objetivo del proyecto relacionado
1	Revisión del estado del arte y estado de la técnica en identificación de alteraciones en la postura y análisis de la huella plantar.	Revisión del estado del arte.
2	Establecer las características internas de cada módulo que compone el sistema de envío de información vía wifi requerido por el usuario.	Analizar los requerimientos y restricciones del sistema automatizado para la identificación de alteraciones en huella plantar.
3	Seleccionar las especificaciones técnicas del módulo de adquisición y procesamiento de las imágenes.	
4	Diseñar el sistema con base a los requerimientos de usuario.	Diseñar el sistema mecánico para la adquisición de las imágenes de la huella plantar.
5	Establecer una técnica para la captura y pre procesamiento de las imágenes de la huella plantar en Android.	
6	Desarrollar un algoritmo para la segmentación de la huella plantar en Android.	Desarrollar un algoritmo para identificar las

No.	Actividad	Objetivo del proyecto relacionado
7	Desarrollar el algoritmo para caracterización y clasificación de los pies y alteraciones a partir de la huella plantar sobre dispositivo móvil.	alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar.
8	Integrar cada uno de los módulos que componen el sistema.	Implementar los módulos que componen el sistema que permite la identificación de las alteraciones en la postura.
9	Realización de pruebas funcionales y de desempeño del sistema integrando cada uno de los módulos de visión artificial.	
10	Validación de los resultados obtenidos con el sistema contra métodos convencionales utilizados en la Universidad de Cundinamarca.	Probar el sistema con los diferentes actores y comparar con los métodos tradicionales utilizados en la Universidad de Cundinamarca.
11	Implementación de un sistema de registro que permita llevar a cabo la trazabilidad de los deportistas.	Implantar el sistema en al interior de la universidad de Cundinamarca en comunidades específicas que permitan la identificación de alteraciones existentes en sus huellas plantares.
12	Realización de los informes finales del proyecto.	Documentación de los resultados
13	Redacción de un artículo científico para sometimiento en revistas.	
14	Ponencia de los resultados preliminares en un evento científico	Entrega y socialización de resultados

4. Capítulo 4: Diseño Metodológico

La metodología implementada durante el desarrollo de la investigación fue de tipo cascada como se evidencia en la Figura 23. El análisis de requisitos fue definida como la etapa inicial del proyecto siendo esta una de las más importantes; llevada a cabo mediante la ayuda del usuario final (Dr. Gabriel Montoya) en conjunto con los ingenieros y estudiantes involucrados; en esta, se estableció los requisitos y requerimientos solicitados basados en el estandar IEEE 830.

Figura 33. Metodología implementada



Fuente: Autor

Durante el desarrollo de las siguientes etapas de la metodología se abordaron el diseño e implementación de los diferentes módulos del sistema, incluyendo los apartados de iluminación, adquisición de imágenes, comunicación y procesamiento. Es de mencionar que durante el diseño e implementación de los diferentes módulos anteriormente mencionados se realizaron las correspondientes pruebas y corrección de errores a cada uno de estos.

4.1. Análisis de Requerimientos y Restricciones del Sistema

Para el análisis de requerimientos y restricciones, se tomó como base el propósito del proyecto de investigación, el cual contempla como objetivo principal el desarrollo de un sistema para la identificación de alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar. Esta especificación de requisitos se basó bajo las directrices dadas por el estándar de especificaciones de requisitos de Software ANSI/IEEE 830, 1998 como se evidencia en el Anexo 1 (Análisis de requisitos IEEE 830). Gracias a la elaboración de este documento se establecieron las pautas iniciales para el diseño del sistema en general y el desarrollo de este, como será expuesto en el transcurso del presente documento.

4.1.1. Características del Sistema

El sistema para la identificación de alteraciones en la postura permitirá la detección y prevención de problemas biomecánicos mediante el análisis de la huella plantar de manera rápida y portable; estará diseñado para trabajar en dispositivos móviles con sistema operativo Android y se integrará con una plataforma web para lograr una mayor cobertura y un fácil acceso a la información desde cualquier lugar.

El dispositivo “podoscopio” se desarrolló siguiendo los requerimientos y restricciones estipuladas, siendo éste portable, de fácil acceso, con capacidad de almacenamiento de energía y capacidad de procesamiento de cualquier tipo de huella. Los materiales solicitados por el usuario y definidos en colaboración con el personal involucrado debían estar caracterizados por ser livianos y resistentes; de igual modo se solicitó la construcción de una plataforma con la menor altura y peso posible.

4.1.2. Restricciones del Sistema

Una vez analizados los requisitos del usuario mediante el uso de reuniones y propuestas, se concluyó el tipo de herramientas a utilizar y las diferentes restricciones que presentaría el sistema como se señala a continuación:

- Dispositivo móvil basado en arquitectura Android, con velocidad de procesamiento de 1GHz, memoria RAM 512Mb y 2Gb de memoria interna de almacenamiento.
- Lenguajes y tecnologías en uso: Android, JAVA, HTML5, PHP y MySQL.
- Lugar con poca luminosidad externa.
- El tamaño de la huella plantar no debe ser superior a 35 cm de largo.
- Tamaño máximo de separación de huellas plantares no mayor a 21 cm.
- Usuarios con un peso inferior a 180 kg.

4.1.3.Requerimientos Funcionales

Durante la etapa de análisis de requerimientos y restricciones, se estipularon los diferentes requerimientos funcionales con los que se contaría en el sistema enumerados en la siguiente lista:

- RF1. Autenticación y administración de usuarios.
- RF2. Captura y administración de imágenes.
- RF3. Identificación de la huella y cálculo de índices de alteraciones en el pie (corvo).
- RF4. Clasificación del pie.
- RF5. Registro de observaciones por parte del profesional encargado.
- RF6. Gestión de información del aplicativo en la WEB.
- RF7. Visualización del historial de mediciones por usuario.
- RF8. Generación de reportes estadísticos.

Para una información más detallada de cada requerimiento funcional se puede dirigir al Anexo 1 (Análisis de requisitos IEEE 830).

4.1.4.Requisitos no Funcionales

De igual modo en conjunto con el usuario, se establecieron los requisitos no funcionales del sistema, los cuales son tomados a consideración para el desarrollo de las etapas consiguientes.

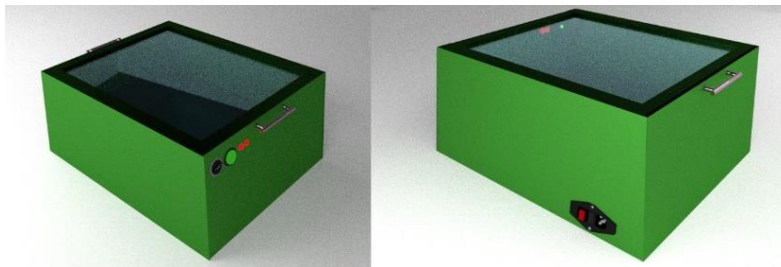
- **Requisitos de rendimiento:** Garantizar al usuario el cálculo del índice de corvo y clasificación de la huella plantar sin interrupciones del sistema.
- **Seguridad:** Garantizar la confiabilidad, la seguridad y el desempeño del sistema, así como también la seguridad del sistema con respecto a la información y datos que han sido generados en las mediciones anteriores.
- **Fiabilidad:** El sistema debe tener una interfaz de uso intuitivo y sencillo que permita a los usuarios identificar el índice de corvo con valores muy similares a los realizados de forma manual por parte del profesional experto.
- **Portabilidad:** El sistema será implantado mediante una interfaz de usuario basado en sistema operativo Android y además permitirá ser trasladado de un sitio a otro con gran facilidad.

4.2. Diseño Físico, Lógico y Circuitual del Sistema

Cabe mencionar que el proyecto llevado a cabo fue aprobado en la convocatoria interna para financiar proyectos de investigación 2017 de la Universidad de Cundinamarca y ejecutado por los miembros del semillero de investigación Kinéstasis (Semillero de Investigación en Procesamiento de Señales y Visión Artificial).

En colaboración junto con el estudiante Neil Camilo Cubillos en calidad de auxiliar de investigación y miembro del semillero anteriormente descrito, se formularon los diseños físicos de la plataforma implementada; realizando las correspondientes simulaciones mediante un diseño 3D construido bajo la herramienta Blender, como se puede observar en la Figura 34 y 35. Gracias a la elaboración y definición de los diseños anteriormente mencionados, se posibilitó la ejecución de las etapas de diseño e implementación de los módulos de alimentación, iluminación, adquisición de imágenes y comunicación del sistema.

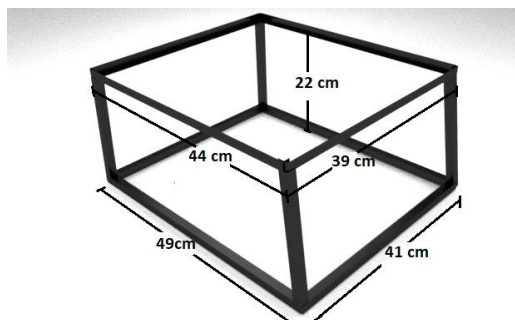
Figura 34. Diseño 3D del Sistema



Fuente: Autores

El diseño implementado y simulado por parte del estudiante Neil Camillo Cubillos, fue basado en los requisitos y requerimientos ya anteriormente definidos en el capítulo 4.1 del presente libro. Cabe resaltar que los diseños fueron resultado del desarrollo de una plataforma previa por parte del estudiante.

Figura 35. Medidas del dispositivo 3D

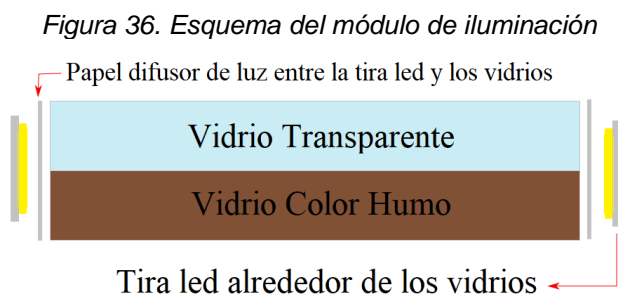


Fuente: Autores

4.2.1. Diseño del Módulo de Iluminación

Para el sistema de iluminación se escogió el uso de tiras led de color blanco situadas alrededor de los vidrios dispuestos como se muestra en la Figura 36. La técnica de iluminación implementada fue llevada a cabo gracias al análisis de investigaciones relacionadas con el tema y al desarrollo de plataformas semejantes a la propuesta dentro del proyecto (Maestre Rendon, y otros, 2017), (Pico Tibaosa & Rey Pulido, 2016), (Medina, Zeas, Morocho, & Bautista, 2017). Entre estas investigaciones se resalta el desarrollo elaborado por parte del autor Rodolfo Maestre junto con su equipo de trabajo, logrando una plataforma de bajo costo para el análisis de la huella plantar con un módulo de iluminación semejante al anteriormente mencionado (Maestre Rendon, y otros, 2017) y la integración de Raspberry Pi 3. De igual modo, este tipo de iluminación fue empleada por parte del estudiante Neil Camillo Cubillos en la elaboración de la plataforma previa al desarrollo del dispositivo final.

La disposición de los vidrios está compuesta, en primer lugar, por un vidrio de color transparente, el cual permite que la luz de las tiras leds sea distribuida en toda su superficie y exista una reflexión en las áreas presionadas por la huella plantar. Como segunda parte se encuentra situado un vidrio de color oscuro el cual permite el filtrado de fuentes de iluminación externas, el anterior esquema se puede evidenciar en la siguiente figura.



Fuente: Autores

4.2.2. Mejora en el Sistema de Iluminación

Una vez implementado el sistema de iluminación basado en tiras leds en la plataforma previa, construida en el semillero de investigación; se observó que se presentaba un exceso de iluminación, lo cual dificultaría en gran parte el proceso de segmentación de las huellas plantares en etapas posteriores; como medida correctiva se implementó el uso de papel difusor entre el vidrio y las tiras leds como se muestra en la Figura 36. El uso de este papel difusor permitió en gran parte eliminar la cantidad de luz excesiva, logrando una mejor segmentación futura de las huellas. Tal como se observa en la Figura 37, existe una iluminación únicamente en

las áreas presionadas por las huellas plantares y en las áreas compuestas por las imperfecciones del vidrio.

Figura 37. Mejoras en el sistema de iluminación



Fuente: Autores

La mejora en el sistema de iluminación anteriormente mencionada obedeció y se llevó a cabo gracias a la etapa de pruebas y corrección de errores, definida dentro de la metodología implementada, siendo inicialmente empleada en el prototipo inicial del sistema y conservada en el dispositivo final.

4.2.3. Selección del Módulo de Adquisición de Imágenes

Para el módulo de adquisición de imágenes se buscó la implementación de una cámara que permitiera en conjunto con la iluminación, la obtención de las huellas plantares dispuestas sobre la superficie de vidrio. Con el fin de cumplir el objetivo anteriormente mencionado, se procedió a la realización de un estudio comparativo con las cámaras más utilizadas en el mercado actual para procesos de visión artificial Anexo 2 (Estudios Comparativos), entre los parámetros a evaluar dentro del estudio comparativo se establecieron:

- Resolución de pixeles (entre 2 y 8 Mp).
- Longitud focal mínima.
- Enfoque automático o adaptable por código.
- Relación costo beneficio.
- Conectividad USB
- Número de fotogramas por segundo.
- Velocidad de transferencia de datos.
- Longitudes físicas.

Se evaluaron seis cámaras comerciales tal como se muestra en la Tabla 3; es de aclarar que los dispositivos seleccionados según sus especificaciones y propósito de fabricación se podrían adaptar al proyecto siguiendo las características y requisitos necesarios mencionados con anterioridad.

Tabla 3. Comparación cámaras digitales

Cámara	Resolución	Longitud focal	Comunicación	Relación focal	Valor comercial
Cámara para Raspberry Pi V2	8 MP	3.04 mm	CSI	2.0	\$90.000
Módulo de visión webcam Sony IMX179	8 MP	3.6 mm	USB	Varifocal	\$170.000
Aptina MI5100 - No Distorsión	5 MP	2.1 mm	USB	Manual	\$180.000
2MP - Módulo de cámara con luz de flash	2 MP	2.8 mm	USB	Auto	\$390.000
Videocámara SQ12	2 MP	2.3 mm	USB	Auto	\$58.000

Fuentes: (Raspberry Pi, s.f.), (Aliexpress, s.f.)

Una vez culminado el estudio comparativo se opta por el uso de la cámara Aptina MI5100 con lente de no distorsión, destacando su mínima longitud focal y una resolución prudente de 5 Mp, además de un precio medio.

Posteriormente de realizar la compra de la correspondiente cámara, se procedió con la fase de pruebas de la misma; siguiendo la metodología definida al inicio del presente capítulo, se logró observar que la cámara presentaba una reducida distancia focal y un ángulo de visión amplio, con lo que se permitió la construcción de una plataforma de aproximadamente 40 cm de altura implementada dentro del semillero de investigación por parte del estudiante Neil Camilo Cubillos. Finalmente, en común acuerdo con los miembros del proyecto de investigación, se optó por el uso de dos cámaras Aptina MI5100 CMOS cada una con la funcionalidad de captar la mitad de la superficie de vidrio y luego realizar la concatenación de las dos imágenes. Con la implementación de este sistema de cámara doble se obtuvo una plataforma de 22 cm de altura finalmente.

4.2.4. Selección del Método de Comunicación

La elección de un método de transmisión de datos es un factor muy importante e influyente, ya que define la velocidad, seguridad, y rango de distancia al momento de transferir las imágenes resultantes, por ende, se realizó de igual modo un estudio comparativo con los principales métodos de transmisión, con el propósito de elegir el que mejor se adapte a las necesidades del proyecto Anexo 2 (Estudios Comparativos).

Tabla 4. Comparación métodos de transmisión de datos

Método	Bluetooth	Wifi	Ethernet	Zigbee	USB 3.0
	Inalámbrica	Inalámbrica	Cableada	Inalámbrica	Cableada
Ancho de Banda	24 Mbps	1 Gbps	1 Gbps	250 kbps	4,8 Gbps
Seguridad	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Alta
Rango	30 m	25 - 50 m	90 m	75 m	5 m
Consumo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Espectro	2.4 GHz	2,4 o 5 GHz	-	2.4 GHz o 900 o 868 MHz	-

Fuentes: (Bluetooth, s.f.), (Norfipc, s.f.), (Martínez, 2007), (Zigbee Alliance, s.f.)

Teniendo en cuenta los parámetros comparados, se escoge la transmisión de tipo wifi, siendo este un método inalámbrico con un ancho de banda y rango alto; estas características garantizan el cumplimiento del requisito de portabilidad del dispositivo; además es un método de comunicación presente en la mayoría de los dispositivos actuales lo cual facilita su uso.

4.2.5. Selección del Módulo de Procesamiento

Una vez seleccionado el módulo de adquisición de imágenes y el método de transmisión de datos, se procedió con la selección del módulo de procesamiento; con este se buscó satisfacer los requisitos del sistema y permitir la integración de los módulos y métodos anteriormente descritos.

Para la selección del módulo de procesamiento, se procedió a realizar un estudio comparativo con el objetivo de analizar diferentes tipos de computadoras de placa

reducida presentes en el mercado actual, y seleccionar una placa que cumpliera con los requisitos de construcción y desarrollo del podoscopio implementado.

Se estudiaron las placas más utilizadas por la comunidad de desarrollo tecnológico en el mundo; entre estas: Cubieboard, Raspberry pi, Banana pi, Odroid, UP Core y Lattapanda. Se abordaron diferentes características y se les asignó un porcentaje según el grado de importancia dentro del proyecto; dándole una mayor importancia a los apartados de conectividad y recursos de procesamiento como se muestra a continuación:

- **Conectividad – 30%:** La conectividad fue considerada como una de las características de mayor importancia dentro de los requisitos de la computadora de placa reducida a seleccionar. Se considerará la posibilidad de conectividad por Ethernet (10%), Wifi (10%) y Bluetooth (10%). Esta característica es fundamental para la conexión del podoscopio con demás dispositivos como teléfonos celulares y computadoras; con el objetivo de realizar conexión inalámbrica entre el dispositivo móvil de control y la plataforma.
- **Recursos de Procesamiento – 30%:** Este es otro atributo de gran relevancia, con aspectos significativos tales como velocidad y número de núcleos del procesador (10%), tamaño de la memoria RAM (10%) y el tipo de GPU (10%). Estas características son importantes en el proceso para optimizar la velocidad de ejecución de los algoritmos a diseñar.
- **Numero de Puertos USB – 6%:** Los puertos USB serán considerados para la conexión de las cámaras para la captura de la huella plantar y conexión de otros dispositivos periféricos.
- **Sistema operativo – 8%:** Se considera más relevante la posibilidad de uso de sistemas operativos basados en Linux para el uso de software libre.
- **Comunidad – 12%:** La comunidad es otro factor por evaluar para la selección del tipo de computadora de placa reducida; esta característica es relevante para la solución de problemas y soporte.
- **Almacenamiento – 4%:** Se analiza el tamaño de memoria interna (1%) y externa (3%); este factor será considerado para alojar el sistema operativo, algoritmos y el almacenamiento de información de forma temporal.

- **Puertos GPIO – 3%:** Los GPIO son relevantes para pequeños procesos tales como encendido y apagado de la iluminación, por lo cual la cantidad necesaria es mínima.
- **Precio – 3%:** El precio no será considerado un factor de mayor relevancia, pero será analizado para un análisis precio-beneficio.
- **Audio y Video – 2%:** Este factor será tomado como referencia para una posibilidad posterior de integración de pantalla de video o de salida de audio.
- **Gestión Energética – 2%:** Se analiza el tipo de alimentación y su consumo energético; esta característica será tomada para analizar el diseño eléctrico del dispositivo.

En la siguiente tabla comparativa, se relacionaron las tarjetas con mejores recursos de las diferentes marcas descritas anteriormente, y se evaluaron según los porcentajes establecidos en el correspondiente estudio comparativo.

Tabla 5. Comparación computadoras de placa reducida

Característica	Cubieboard 6	Raspberry Pi 3 B+	Banana Pi M3	Odroid-XU4	Up Model	Lattepanda
CPU (10%)	ARM Cortex-A9 (32-bit) 1.2GHz Quad Core	Cortex-A53 64bits, 1.4GHz Quad Core	ARM Cortex-A7 Octa-core 1.8GHz	Samsung Exynos5422 de 8 núcleos, 2Ghz.	Intel® Atom™ x5 Z8350, 1.92GHz	Intel Cherry Trail Z8350 Quad Core 1.8GHz
GPU (6%)	PowerVR SGX544	BROADCOM VIDEOCORE IV 250 MHZ.	Mali400mp 2, OpenGL ES 2.0/1.1 700 MHz	Mali-T628 MP6	Intel HD 400 Graphics	Intel HD Graphics 500 MHz
RAM (10%)	2 GB	1 GB	2 GB	2 GB	1 GB	2 GB
Memoria Interna (3%)	8 GB	0 GB	8 GB	8 GB	16 GB	32 GB
Memoria Externa (3%)	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD	-	-
Video Output (1%)	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI
Audio Output (1%)	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo

Característica	Cubieboard 6	Raspberry Pi 3 B+	Banana Pi M3	Odroid-XU4	Up Model	Lattepanada
Conectividad (30%)	Ethernet RJ-45 Wifi 802.11 Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi 2.4 GHz Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0
GPIO (5%)	96 pines	40 pines	40 pines	40 pines	40 pines	40 pines
Puertos USB (10%)	2	4	2	3	4	3
Sistema Operativo (8%)	Android, Sistemas basados en Linux	Linux Raspbian	Android y Linux	Android y Linux	Windows 10, Android y Linux	Windows 10, Android y Linux
Alimentación (2%)	5v – 2.5A	5v – 1.4A	5v – 2A	5v – 4A	5v – 3A	5v – 2A
Precio (3%)	\$200000	\$120000	\$190000	\$170000	\$280000	\$260000

Fuentes: (Cubieboard, s.f.), (Raspberry Pi, s.f.), (Bpi Home, s.f.), (Hardkernel, s.f.), (Up Core, s.f.), (Lattepanada, s.f.)

Una vez finalizado el correspondiente estudio comparativo, se concluyó que la mejor opción presentada en el mercado actual y tomando como referencia los requisitos necesarios; la placa que satisface las necesidades presentadas fue la “Banana PI M3”, debido a sus recursos de procesamiento y sus diferentes métodos de conectividad; además de contar con el soporte para el uso de sistemas basados en Linux.

4.2.6. Diseño Circuital del Sistema

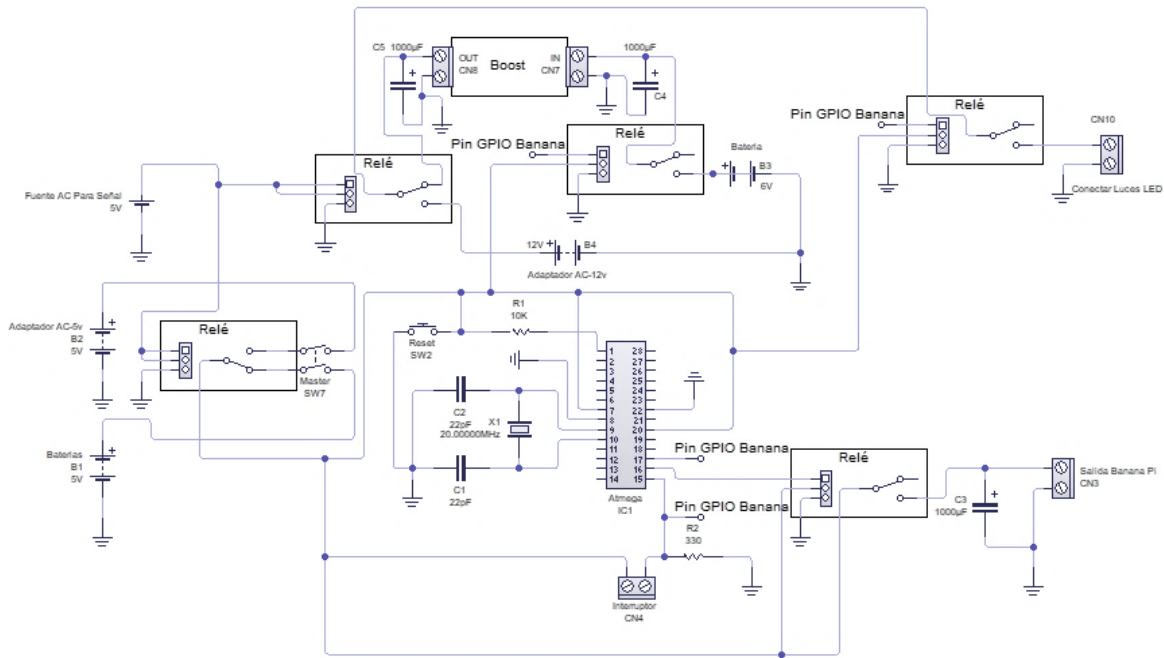
Con la selección de los diferentes módulos del sistema y siguiendo los requerimientos de portabilidad, se realizó el diseño de un sistema de alimentación *online* conectado a la red eléctrica y a su vez *offline* mediante el uso de baterías cuando no exista suministro de esta, garantizando con esto el requerimiento de portabilidad.

Adicionalmente a los elementos estipulados dentro de los módulos anteriormente seleccionados, se implementó los siguientes componentes para el sistema de alimentación:

- **Microcontrolador Atmega 328P:** Microcontrolador con la funcionalidad de realizar procesos de apoyo entre la Banana Pi y demás circuitos (encendido y apagado de la computadora de placa reducida).
- **HUB USB:** El uso del dispositivo HUB permitirá la expansión de los puertos USB para periféricos de la Banana Pi (mouse, teclado), para uso exclusivo del administrador de la plataforma.
- **Adaptador de 5V, 3A:** Fuente de alimentación del microcontrolador y la Banana Pi.
- **Adaptador de 12V, 2A:** Fuente de alimentación para el encendido de la iluminación.
- **Batería de 5V, 10000mAh:** Contar con un banco de baterías, contribuye a la portabilidad de la plataforma, siendo esta la fuente de alimentación para la Banana Pi y el microcontrolador Atmega cuando no exista suministro eléctrico de la red.
- **Batería de 6V, 6 Ah junto con boost:** El módulo de alimentación compuesto por la batería de alto amperaje en conjunto con el convesor *boost* proporciona la alimentación necesaria para el sistema de iluminación (12v).
- **Módulos relé:** Los módulos relés están encargados de controlar aspectos como, encendido de luces led, cambio de alimentación y apagado de la Banana Pi.

Con los componentes anteriormente descritos se procedió al diseño del circuito esquemático del sistema en el software *Livewire* Anexo 3 (Diseño Circuital del Sistema); siguiendo la metodología de igual modo se realizaron las pruebas correspondientes al diseño elaborado. En la Figura 38 se puede observar la integración de cada componente dentro del circuito y sus respectivas conexiones, integrando el sistema de cambio de red eléctrica a baterías mediante el uso de relés.

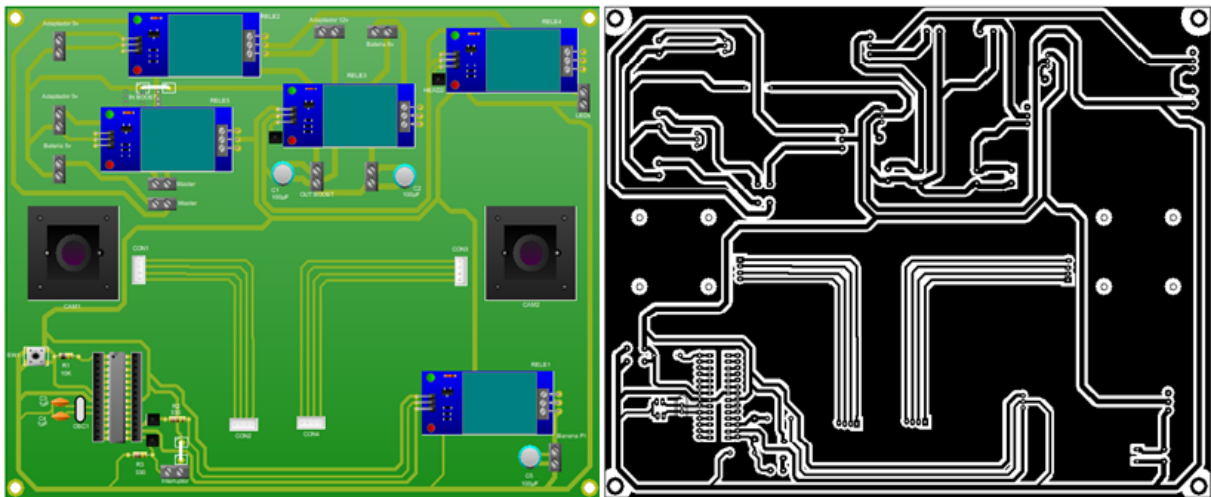
Figura 38. Diseño circuital del sistema



Fuente: Autor

Una vez obtenido el esquemático del diseño circuital del sistema, se procedió a la elaboración del circuito impreso con la integración de cada componente y módulos anteriormente diseñados, como se puede observar en la siguiente figura; para el diseño del circuito impreso se empleó el software PCB Wizard.

Figura 39. Circuito impreso del sistema



Fuente: Autor

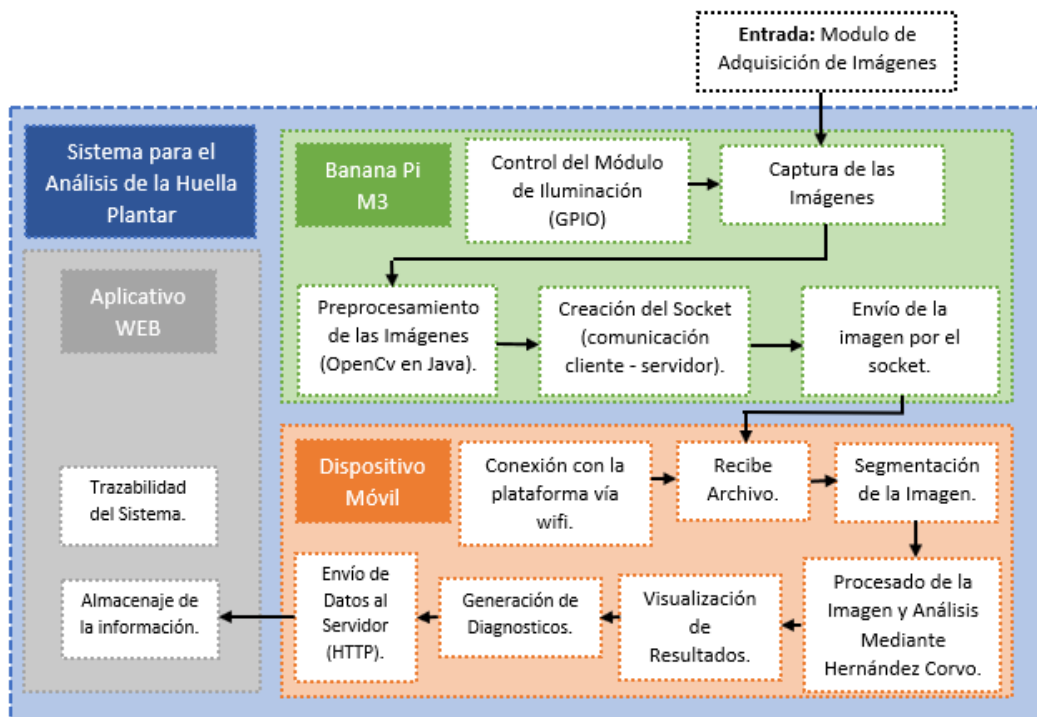
4.3. Implementación del Sistema

Culminadas las etapas de análisis de requisitos y diseño del sistema, se procedió a la integración de los diferentes módulos y a la implementación del sistema en general. Como se puede observar en la Figura 40, se detallan las diferentes integraciones de cada módulo dentro del sistema junto con sus respectivos procesos.

Como se ha ido mencionando durante el presente documento el sistema para el análisis de la huella plantar integra tres componentes (plataforma podoscopica, aplicación móvil para el análisis de la huella plantar y aplicativo web para el seguimiento y trazabilidad de los resultados).

La plataforma podoscopica está compuesta principalmente por el computador de placa reducida Banana Pi M3, el cual cuenta con un código interno desarrollado en Java para la captura de la imagen de la huella plantar y preprocesado de esta mediante funciones de OpenCv; además este mismo dispositivo está encargado del control del módulo de iluminación mediante la activación de un relé controlado con los pines GPIO internos de la placa ya mencionada. Como funcionalidad finalidad la placa Banana Pi M3 está encargada de crear una red wifi y enviar la imagen por medio de socket (Cliente-Servidor), siendo la plataforma el servidor y el dispositivo móvil el cliente.

Figura 40. Diagrama general del sistema



Fuente: Autor

La aplicación móvil desarrollada bajo *Android Studio* en lenguaje Java e integrando de igual manera la librería de visión artificial OpenCv, está encargada del procesamiento de la imagen capturada por la plataforma y realizar el análisis de esta siguiendo los pasos descritos en el método de Hernández Corvo; una vez finalizado el análisis de la huella plantar es enviado el resultado al servidor web mediante el protocolo HTTP junto con el diagnostico generado por el médico a cargo.

4.3.1. Construcción Física del Dispositivo

Siguiendo los diseños 3D del dispositivo y los diferentes esquemáticos, se procedió a la construcción de la plataforma final mediante la colaboración del estudiante Neil Camilo Cubillos Morales dentro del grupo de investigación; obteniendo como resultado un dispositivo de 49x41x22 cm y con un peso de 11.3 kg como se muestra en la Figura 41.

Figura 41. Dispositivo implementado - físico



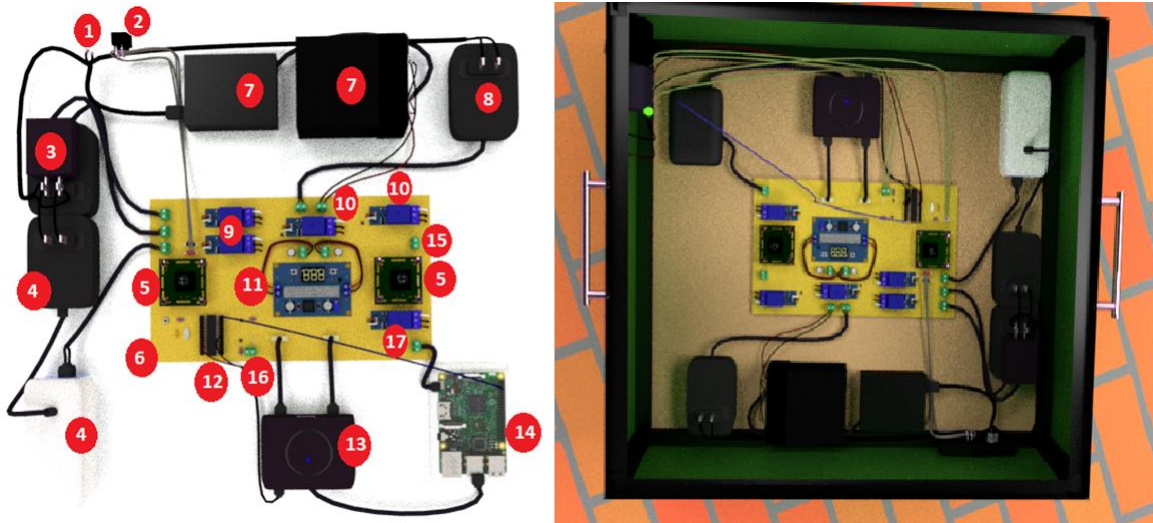
Fuente: Autor

Los materiales finalmente implementados estuvieron compuestos por vidrio templado, cubiertas de acrílico y estructura base metálica (tubo cuadrado 3/4 calibre 22). Estos materiales fueron seleccionados para satisfacer los requisitos de portabilidad e integridad física con el usuario final.

Para la disposición de los elementos de los módulos de iluminación, captura, alimentación y procesamiento, se realizó un diseño 3D de la plataforma apoyándose

en el estudiante Neil Camilo Cubillos, el cual situó cada elemento en el mejor sitio posible para posteriormente ser implementado físicamente. En la Figura 42 se puede observar como ya se mencionó la disposición de cada elemento al interior de la plataforma implementa en 3D.

Figura 42. Disposición de los diferentes módulos del sistema 3D



Fuente: Autores

- | | |
|---|---|
| 1. Conexión AC. | 10. Relés encendido luces led y activación boost. |
| 2. Conexión <i>switch</i> . | 11. Boost elevador de 6 a 12 voltios. |
| 3. Adaptador 5V a 3A. | 12. Atmega 328 y su debida polarización. |
| 4. Batería 5V con adaptador 5V a 3A. | 13. HUB USB. |
| 5. Cámaras de visión artificial. | 14. Banana Pi M3. |
| 6. Circuito impreso. | 15. Conector tira led. |
| 7. Batería de 6 voltios con adaptador 8V a 9A. | 16. Conector switch de encendido. |
| 8. Adaptador 12V a 3A. | 17. Relé energización de la Banana Pi. |
| 9. Relé cambio de baterías interna a adaptadores. | |

4.3.2. Mejoras en el Módulo de Captura

Siguiendo la metodología implementada y su realimentación mediante la aplicación de la fase de prueba y corrección de errores, se observó y concluyó que uno de los principales inconvenientes en los proyectos de procesamiento de imágenes es la afectación de fuentes de iluminación externas. Para solucionar en gran medida este inconveniente se procedió a la toma de dos imágenes simultáneamente; la primera con la iluminación de la plataforma apagada y la segunda con la iluminación

encendida. Con las dos imágenes capturadas se procede a la resta de estas obteniendo una eliminación de las fuentes de iluminación externas como se muestra en la Figura 43.

Figura 43. Eliminación de iluminación externa



Fuente: Autor

El proceso de eliminación de las fuentes de iluminación externas es llevado a cabo dentro de la plataforma, siendo ejecutado gracias al computador de placa reducida Banana Pi M3 ejecutando OpenCv 3.4.2 bajo lenguaje Java, siendo esta una librería de visión artificial libre. Una vez realizado el anterior proceso la imagen es enviada al dispositivo móvil mediante comunicación wifi y protocolo TCP IP por medio de una comunicación cliente – servidor.

Figura 44. Diagrama de flujo eliminación de fuentes de iluminación externas

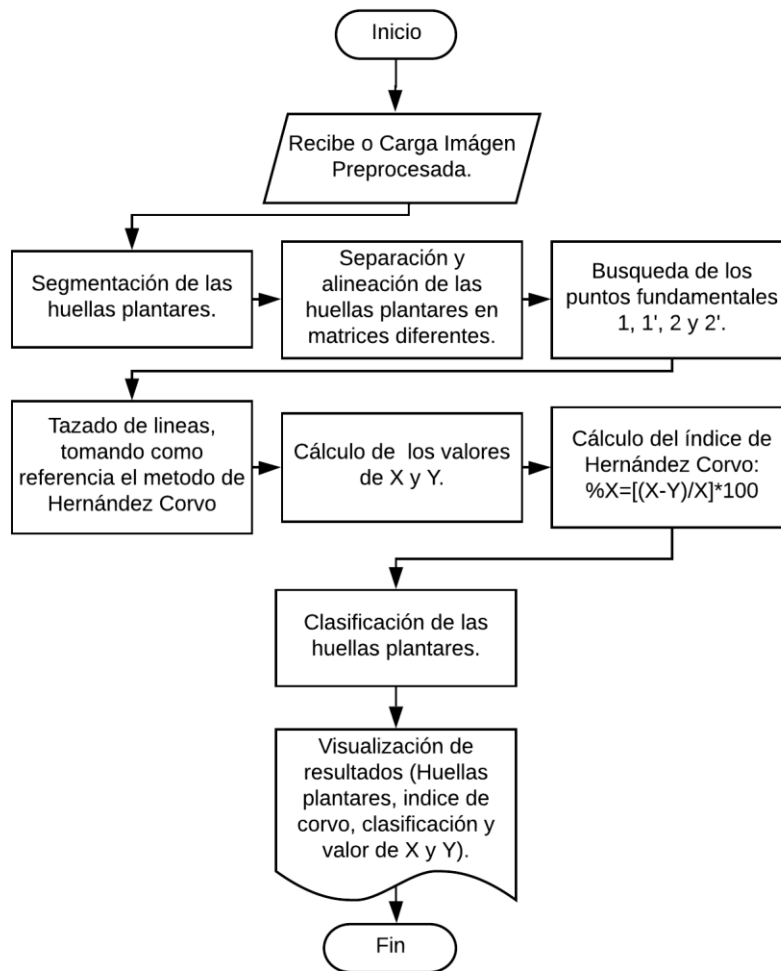


Fuente: Autor

4.3.3. Desarrollo de la Aplicación Móvil

Con los requerimientos y requisitos establecidos, se procedió al desarrollo de la aplicación móvil bajo sistema Android. El entorno de desarrollo implementado fue *Android Studio* y las técnicas de visión artificial fueron manejadas mediante la librería *OpenCV* versión 3.4.2 implementada sobre Java. El diagrama general del proceso llevado a cabo por parte de la aplicación móvil para el procesamiento de la imagen y muestra de resultados, se evidencia en la Figura 45.

Figura 45. Diagrama de flujo general del procesamiento de la imagen



Fuente: Autor

4.3.3.1. Desarrollo del Algoritmo de Segmentación

Tomando como referencia el tipo de imagen obtenida al aplicar la eliminación de fuentes de iluminación externas, se optó por una segmentación mediante el método

de Otsu; como primer paso se realizó una conversión de la imagen en RGB a escala de grises como se muestra en la Figura 46, mediante la función “`Imgproc.cvtColor()`”.

Figura 46. Conversión de la imagen a escala de grises



Fuente: Autor

Una vez la imagen original convertida a escala de grises se procedió a aplicar el algoritmo de segmentación de Otsu mediante la función “`Imgproc.THRESH_OTSU()`” de OpenCv ; a pesar de contar con una imagen fácil de segmentar es evidente la presencia de objetos o ruido que no pueden ser totalmente eliminados mediante esta técnica. En la Figura 47 se puede observar los resultados posteriormente de aplicar Otsu y los errores anteriormente descritos, señalados mediante circunferencias de color rojo.

Figura 47. Resultado de la segmentación de la imagen por Otsu



Fuente: Autor

Finalmente, con la imagen presegmentada se procedió a eliminar los objetos no considerados parte de la huella plantar. Ante la situación planteada anteriormente se empleó un algoritmo de detección de contornos para identificar los diferentes objetos presentes en la imagen y sus respectivas áreas. Una vez obtenidas las áreas de cada objeto, se discriminaron aquellos que contaban con un valor menor a la ciento veinteava parte de el de mayor área. Este método de filtrado y segmentación resultó ser eficaz tal como se evidencia en la Figura 48 y fue conservado en la aplicación final.

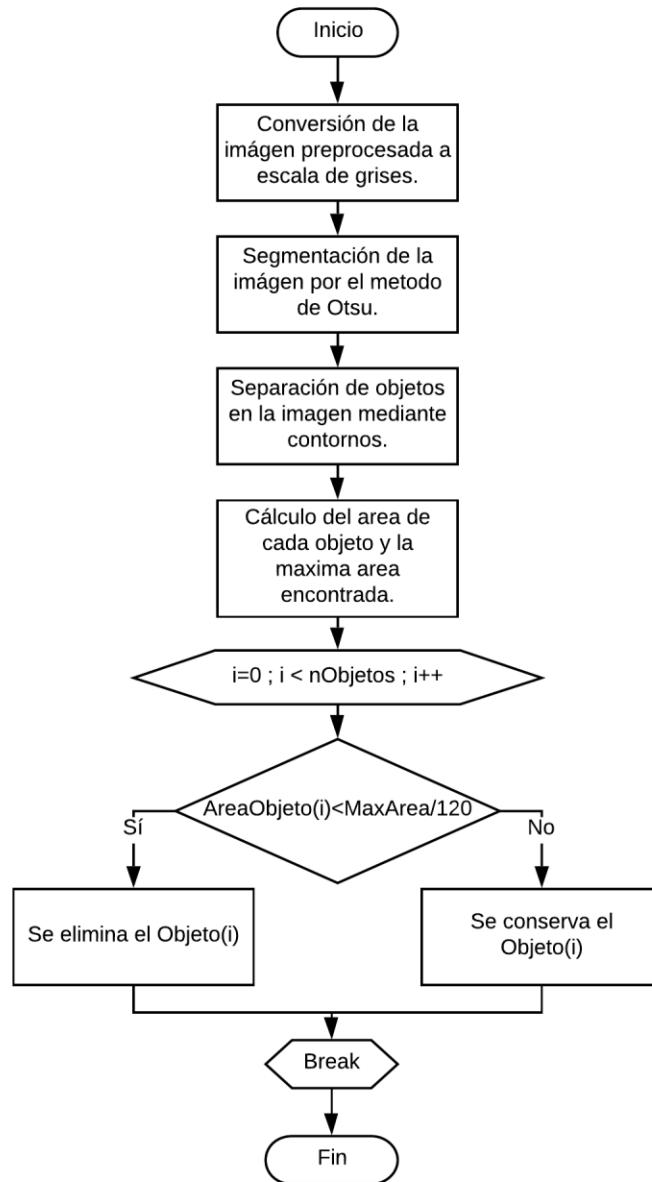
Figura 48. Resultado segmentación implementada



Fuente: Autores

Tal como se describió anteriormente en la Figura 49 se puede observar los diferentes pasos empleados para la segmentación de las huellas plantares, mediante la aplicación de Otsu y la utilización de contornos.

Figura 49. Diagrama de flujo proceso de segmentación



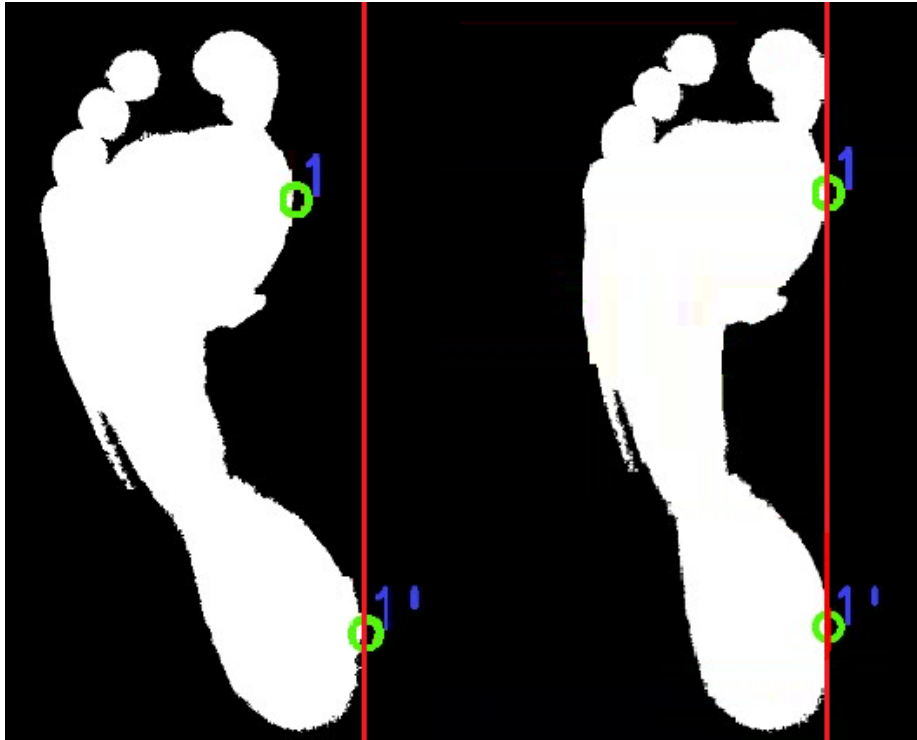
Fuente: Autor

4.3.3.2. Separación y Alineación de las Huellas Plantares

Una vez culminado el proceso de segmentación, se procedió a la separación y alineación de las huellas plantares en matrices de pixeles diferentes. Para lograr el objetivo antes descrito se dividió el fotograma en dos partes tomando el número medio de la cantidad total de columnas. Para la alineación de las huellas plantares se ubicaron los puntos 1 y 1' descritos en el método de Hernandez Corvo (Hernández Corvo, 1989), y mediante el teorema de Pitágoras se procedió al cálculo

del ángulo de alineación. Una vez aplicado el proceso de rotación llevado a cabo mediante OpenCv utilizando la función "Imgproc.warpAffine", se obtuvo la alineación de los puntos 1 y 1' en la huella plantar tal como se muestra en la Figura 50.

Figura 50. Resultado de la alineación de la huella plantar

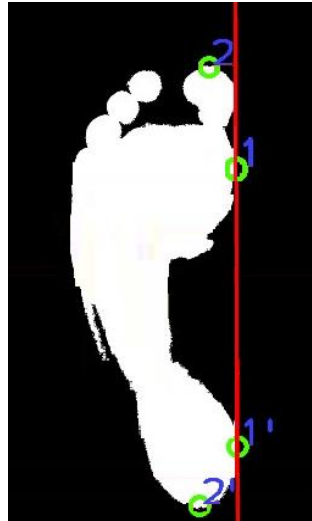


Fuente: Autor

4.3.3.3. Cálculo de los Puntos 1, 1', 2 y 2'

Una vez culminado el proceso de alineación de la huella plantar, se procedió a ubicar los puntos 2 y 2' siendo estos, el punto superior e inferior de la huella plantar correspondientemente. Cabe aclarar que los puntos 1 y 1' fueron calculados anteriormente para el proceso de alineación de la huella por lo cual no debían ser ubicados nuevamente. Con los cuatro puntos fundamentales del método de Hernandez Corvo, se procedieron a graficarlos tal como se muestra en la Figura 51 sobre la huella plantar correspondiente. Para encontrar cada punto se procedió a recorrer la matriz de pixeles mediante el uso de ciclos for y comparar los pixeles de color blanco por posición.

Figura 51. Resultado ubicación de los puntos fundamentales del método de Hernández Corvo

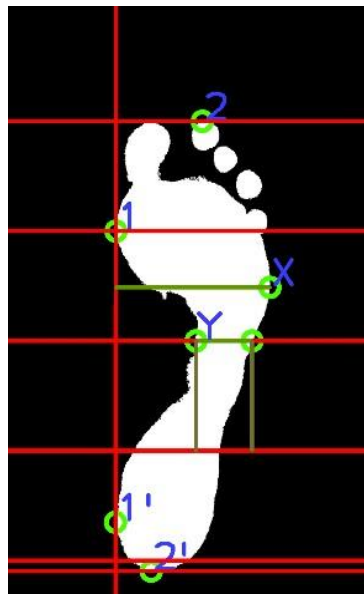


Fuente: Autor

4.3.3.4. Trazado de Líneas y Caculo de los Valores de “X” y “Y”

Posteriormente de ubicar los puntos fundamentales descritos en el apartado anterior y siguiendo a cabalidad los lineamientos del método de Hernández Corvo, se procedió a realizar el trazado de las líneas características de dicho método, tal como se observa en la Figura 52. De igual modo con las medidas fundamentales trazadas, se realizó el cálculo de los valores de “X” y “Y” para seguidamente ser aplicados en la formula característica del índice de Hernández Corvo.

Figura 52. Resultado huella plantar con puntos y trazos fundamentales



Fuente: Autor

4.3.3.5. Cálculo del Índice de Corvo y Visualización de Resultados

Finalmente, una vez obtenidos los valores de “X” y “Y” basados en los puntos y trazos fundamentales del método ya descrito, se procedió al cálculo del porcentaje de Corvo mediante el uso de la ecuación 2 (Hernández Corvo, 1989).

$$\%X = \frac{X - Y}{X} * 100 \quad (2)$$

Con el valor obtenido del índice de corvo para cada huella plantar, se realizó la clasificación de estas y la visualización de los correspondientes datos como se observa en la Figura 53, donde se le presenta al usuario el correspondiente índice, clasificación, valor de “X” y “Y” para cada huella plantar.

Figura 53. Visualización de resultados en la aplicación móvil



Fuente: Autor

4.3.4. Interfaz Gráfica - Aplicación Móvil

Una vez culminada la etapa de desarrollo de los algoritmos de visión artificial y procesamiento de imágenes, se procedió al desarrollo de la interfaz gráfica general de la aplicación como ya antes se ha mencionado mediante el entorno de desarrollo *Android Studio* implementando este automáticamente lenguaje XML para los archivos de *front-end*; de igual modo se integró las funcionalidades

correspondientes a la trazabilidad del sistema dentro de las clases desarrolladas en Java.

4.3.4.1. Pantalla de Bienvenida

Siguiendo los lineamientos definidos durante la etapa de análisis de requisitos y requerimientos del sistema, se realizó el desarrollo de una interfaz gráfica intuitiva y llamativa para el usuario. Para el cumplimiento del objetivo anteriormente mencionado, la pantalla principal o de bienvenida está compuesta por el título de la aplicación, seguida del logo característico del sistema. Finalmente, en esta pantalla se cuenta con la posibilidad de iniciar sesión con un usuario tipo médico o auxiliar; y de igual modo se encuentra habilitada la opción de ingreso al sistema en modo sin conexión como se muestra en la Figura 54.

Figura 54. Pantalla principal de la aplicación móvil

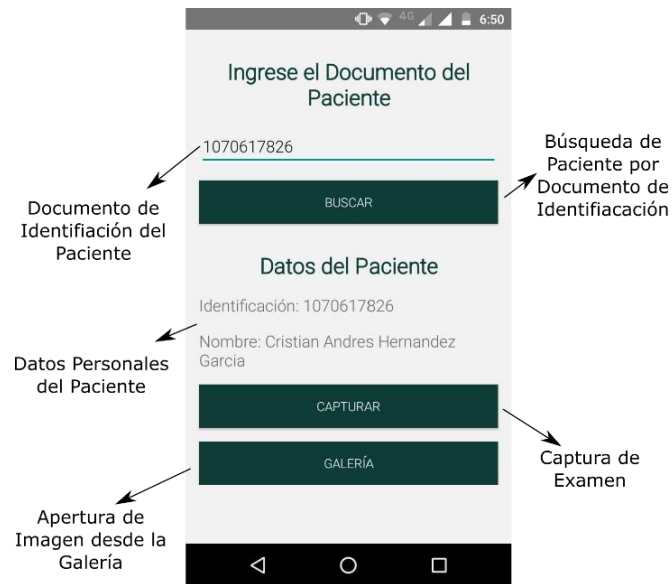


Fuente: Autor

4.3.4.2. Pantalla de Búsqueda de Paciente y Captura de Examen

Una vez el usuario haya ingresado correctamente al sistema será dirigido a la pantalla de búsqueda del paciente a examinar. En la correspondiente interfaz se realizará la búsqueda del paciente por documento de identidad y se visualizarán los datos personales de este, como se evidencia en la Figura 55. En esta pantalla una vez seleccionado el paciente se habilitará la opción de captura del examen o la posibilidad de cargar una imagen desde la galería.

Figura 55. Pantalla búsqueda de paciente y captura de examen

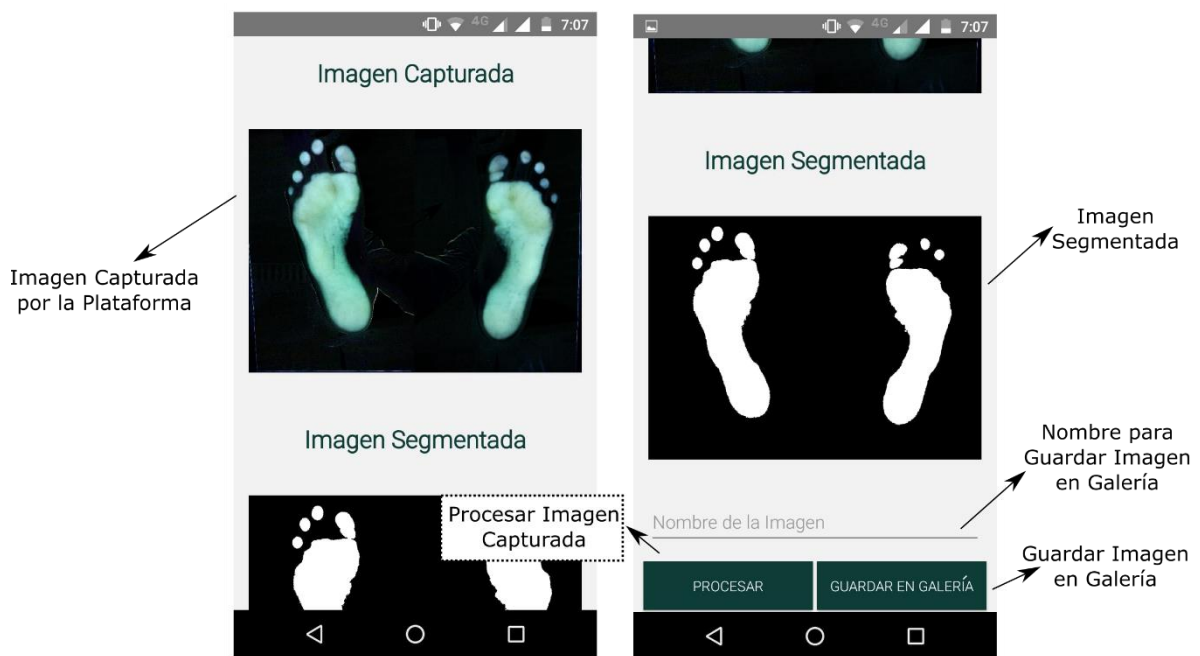


Fuente: Autor

4.3.4.3. Pantalla de Visualización de Examen Capturado

Posteriormente de realizar la búsqueda del paciente y capturado el examen o cargado este desde la galería, se visualizará la imagen a procesar y su correspondiente segmentación como se muestra en la Figura 50.

Figura 56. Pantalla de visualización de examen

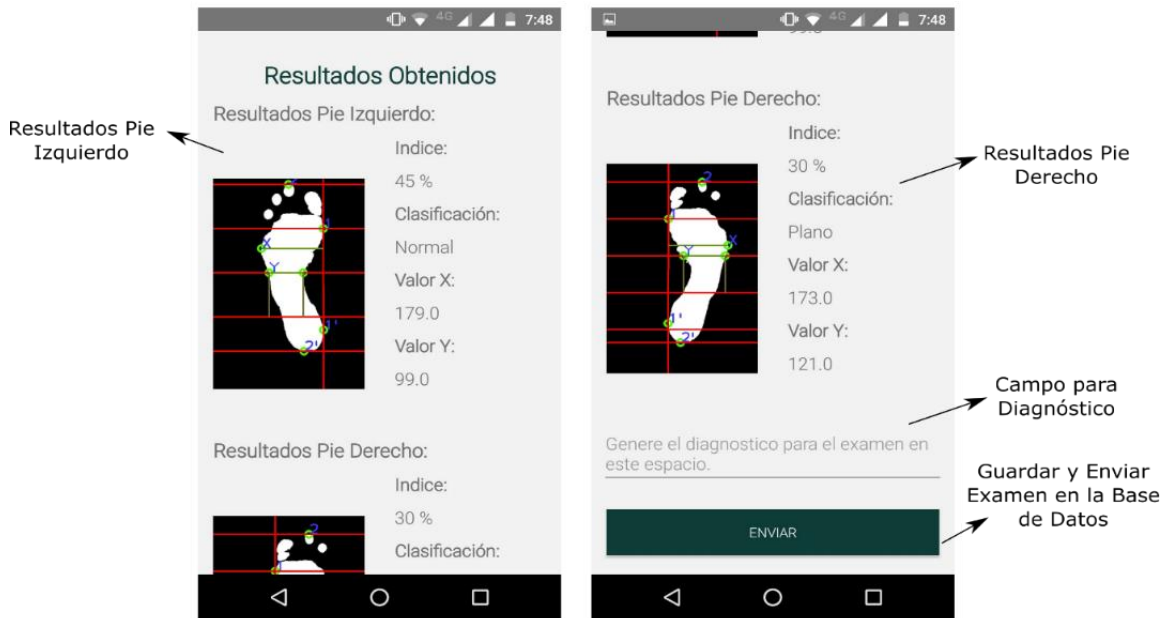


Fuente: Autor

4.3.4.4. Visualización de Resultados

Finalmente, una vez ejecutado el proceso de análisis de la imagen y procesamiento de esta, se visualiza en la pantalla de resultados los correspondientes a cada huella plantar tal como se muestra a continuación.

Figura 57. Pantalla visualización de resultados



Fuente: Autor

4.3.4.5. Modo sin Conexión

En caso de no contar con acceso a internet el sistema permite su uso en modo sin conexión con el cual es capaz de conectarse a la plataforma y capturar el correspondiente examen y realizar su procesamiento. Cabe aclarar que en este modo no es posible enviar los exámenes capturados a la base de datos, pero pueden ser almacenados en la galería.

Figura 58. Pantalla sin conexión

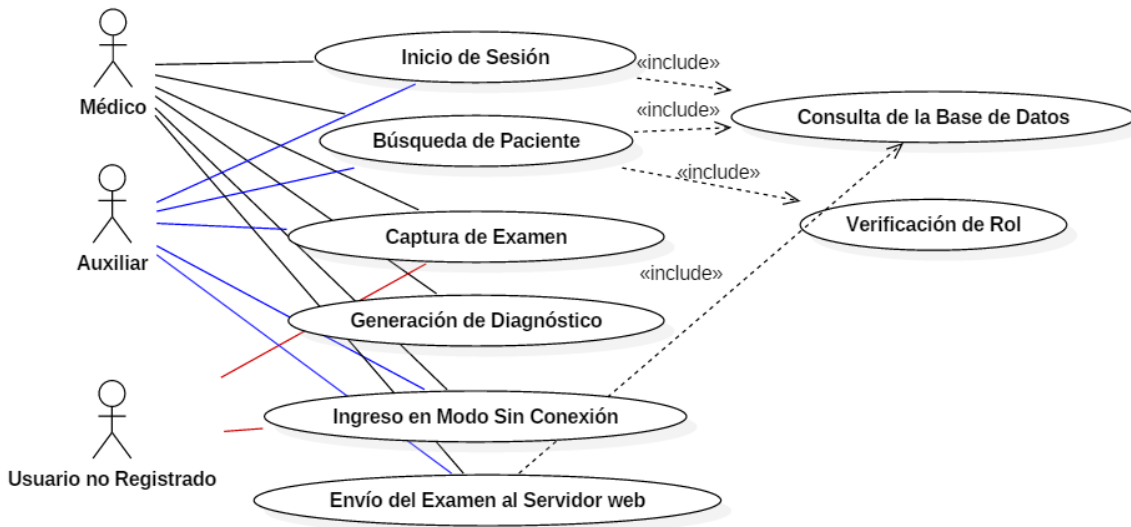


Fuente: Autor

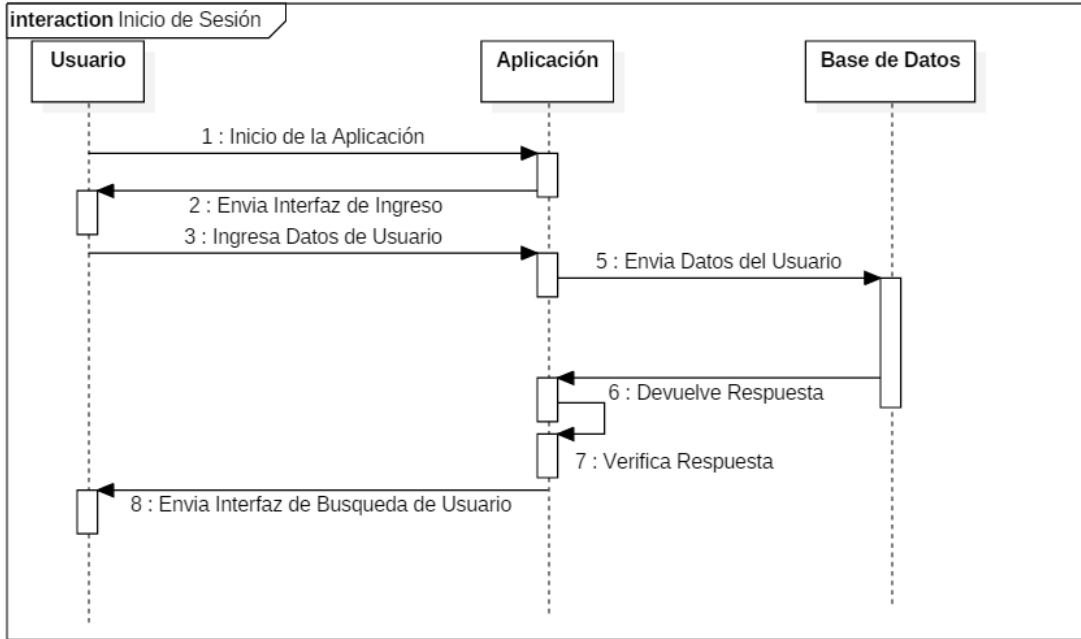
4.3.5. Diagramas UML - Aplicación Móvil

Siguiendo el lenguaje modelado unificado se procedió a realizar los correspondientes diagramas de la aplicación móvil desarrollada, implementando los diagramas de caso de uso, secuencia y actividades tal como se muestra a continuación.

Figura 59. Diagrama de caso de uso aplicación móvil

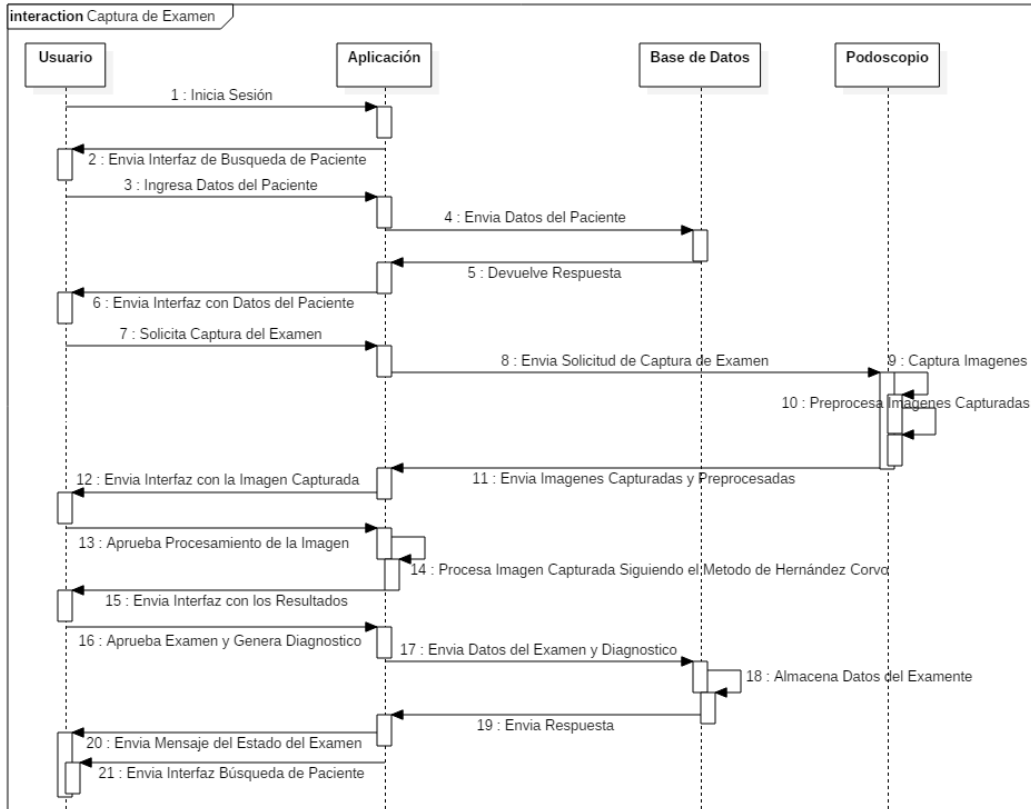


Fuente: Autor
 Figura 60. Diagrama de secuencia inicio de sesión



Fuente: Autor

Figura 61. Diagrama de secuencia captura de examen



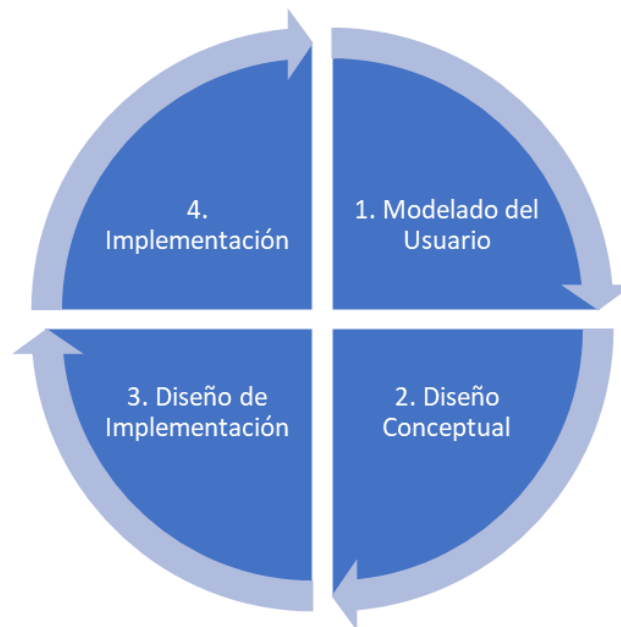
Fuente: Autor

4.3.6.Desarrollo del Aplicativo Web

4.3.6.1. Metodología Implementada

Para el desarrollo del aplicativo web se trabajó bajo la metodología WSDM (*Web Site Design Method*), donde su principal característica es enfocar al usuario del sistema, y de igual manera considera que este es el encargado de definir lo requisitos, y los usuarios que interviene en la aplicación.

Figura 62. Metodología implementada para el aplicativo web



Fuente: Autor

Este tipo de metodología define como primera fase el modelado del usuario, en el cual se definen los diferentes posibles usuarios de la aplicación y la información requerida por cada uno de estos. Para el cumplimiento de esta fase se trabajo mediante reuniones con el usuario final del sistema (Dr. Gabriel Montoya) donde se definieron los usuarios del sistema y las funcionalidades del mismo que se irán describiendo en apartados posteriores.

Como segunda fase de la metodología WSDM esta definido el diseño conceptual del sistema donde es condensada la información suministrada por el usuario; en esta fase se realizó el diseño de la base de datos y el diagrama entidad relación buscando satisfacer las expectativas definidas por el usuario en la etapa anterior.

Como etapas finales de la metodología se encuentra el diseño de implementación y la implementación misma del sistema; para la satisfacción de estas dos etapas de

la metodología se realizó una plantilla o bosquejo de la interfaz grafica del sistema la cual fue aprobada por el usuario. Una vez aprobado el prototipo inicial del sistema se procedió a la etapa de implementación, en la cual según la metodología WSDM se debe realizar la selección del entorno de desarrollo siendo en este caso Laravel; una vez seleccionado el entorno de desarrollo se procedió a realizar la correspondiente codificación y la verificación de la funcionalidad total de la aplicación web una vez se culminó.

4.3.6.2. Análisis del Sistema

La presente sección tiene como propósito evidenciar el análisis desarrollado al sistema abordando el aplicativo web. Para el cumplimiento de tal fin se empleó el desarrollo de casos de uso, especificación de actores y construcción del modelo entidad relación; dichas actividades tuvieron como fin estructurar y describir las funcionalidades que el sistema debía cumplir según los requisitos solicitados por el usuario.

4.3.6.3. Descripción de Actores del Sistema

El presente sistema de información está compuesto temporalmente por cuatro tipos de usuarios descritos a continuación:

Tabla 6. Descripción de actores del sistema

Actor	Descripción
Administrador	Actor con acceso total al sistema encargado de la administración de los módulos dentro de este. La única restricción presente en este actor es la eliminación de registros y la generación o modificación de diagnósticos.
Médico	Actor encargado de la toma de exámenes y generación de diagnósticos. Además, cuenta con las funcionalidades básicas del actor paciente.
Auxiliar	Actor encargado de la toma de exámenes, con la limitación de no generar diagnósticos. De igual modo cuenta con las funcionalidades básicas del actor paciente.

Actor	Descripción
Paciente	Actor con funcionalidades básicas dentro del sistema, con posibilidad de observar sus datos personales y la modificación de estos; además de acceso y visualización de sus exámenes históricos.

, Fuente: Autor

4.3.6.4. Identificación de Roles del Sistema

Como se mencionó anteriormente el presente sistema está compuesto por cuatro tipos de usuarios, los cuales cuentan con diferentes roles y privilegios estipulados en la Tabla 7. Para la siguiente definición los actores están identificados de la siguiente manera:

0. Administrador
1. Médico
2. Auxiliar
3. Paciente

Tabla 7. Identificación de roles del sistema

Funcionalidad	Actor			
	0	1	2	3
Administración de Categorías Deportivas	SI	NO	NO	NO
Administración de Ocupaciones	SI	NO	NO	NO
Administración de Deportes	SI	NO	NO	NO
Administración de Roles	SI	NO	NO	NO
Administración de Usuarios	SI	NO	NO	NO
Visualización de Exámenes Propios	SI	SI	SI	SI
Modificación de Datos Personales	SI	SI	SI	SI
Visualización de Datos Personales	SI	SI	SI	SI
Acceso a la Aplicación Móvil	NO	SI	SI	NO

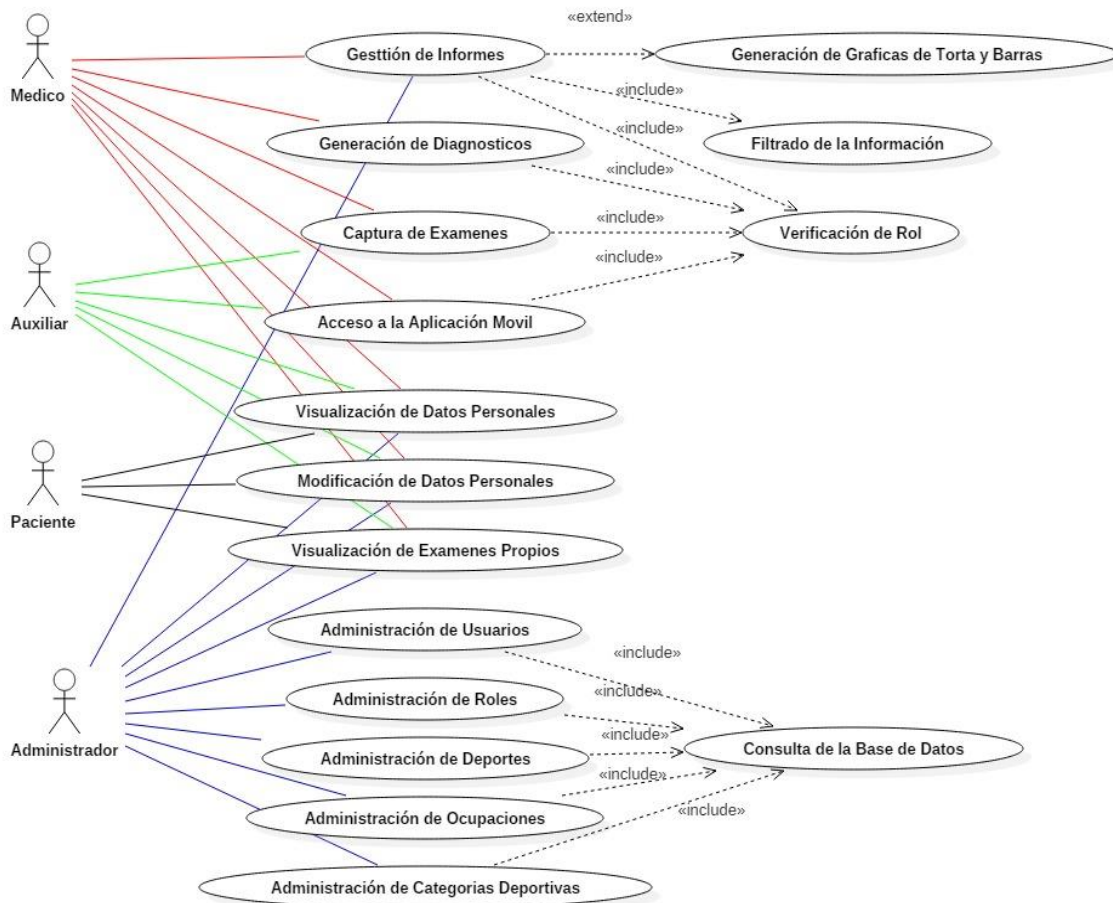
Funcionalidad	Actor			
	0	1	2	3
Captura de Exámenes	NO	SI	SI	NO
Generación de Diagnósticos	NO	SI	NO	NO
Gestión de Informes	SI	SI	NO	NO

, Fuente: Autor

4.3.6.5. Diagrama General de Casos de Uso del Sistema

Con los actores definidos y las funcionalidades correspondiente por actor se procedió al desarrollo del diagrama de casos de uso general como se evidencia en la Figura 63.

Figura 63. Diagrama de casos de uso del sistema

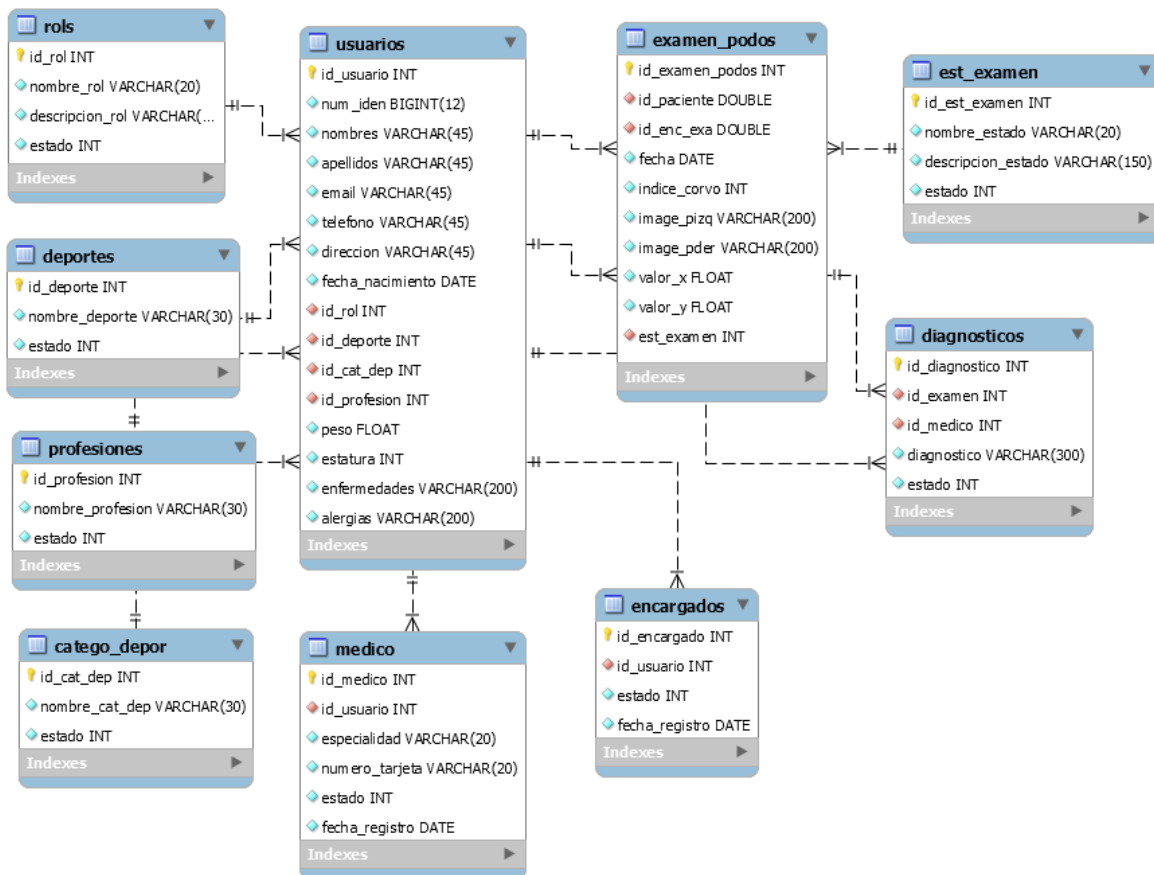


Fuente: Autor

4.3.6.6. Modelo Entidad Relación

Una vez culminadas las etapas de análisis de requerimientos y requisitos del sistema, junto con la selección de actores y funcionalidades, se procedió al desarrollo de la base de datos siguiendo cada una de las directrices definidas en el modelo entidad relación, logrando el esquema mostrado en la Figura 64. De igual modo para el diseño de la presente base de datos se tomó como referencia el modelo BPM diseñado con anterioridad Anexo 4 (*Model Business Process Management*).

Figura 64. Modelo entidad relación del sistema



Fuente: Autor

4.3.7. Funcionalidades del Aplicativo Web - Interfaz Grafica

Como ya se ha mencionado en secciones anteriores, se desarrolló un sistema de información para permitir la trazabilidad de los exámenes capturados a cada paciente. Para el desarrollo de este aplicativo se utilizó la herramienta tipo *framework* Laravel manejado sobre PHP5, junto con una base de datos MySQL desarrollada en MySQL Workbench; para pruebas iniciales se manejó de forma local

mediante el software Xamp el cual integra un sistema de gestión de bases de datos MySQL (phpMyAdmin) y el servidor web Apache. Finalmente, para pruebas en la nube se utilizó el servidor gratuito 000webhost donde se alojó el aplicativo web.

Para el diseño del *front-end* del aplicativo se utilizó la herramienta Bootstrap, la cual es una herramienta de código abierto para el diseño de sitios web, con diferente tipo de plantillas para la creación de botones, formularios, menús de navegación, etc; basados en HTML y CSS.

4.3.7.1. Pantalla de Ingreso al Sistema

Para acceder a las diferentes funcionalidades del sistema es necesario el ingreso a este con el número de identificación y la contraseña correspondiente a cada usuario como se evidencia en la Figura 65; en caso de no contar con un usuario es necesario el registro de este. Dependiendo del Rol de usuario se desplegará los diferentes módulos de administración como se observará más adelante.

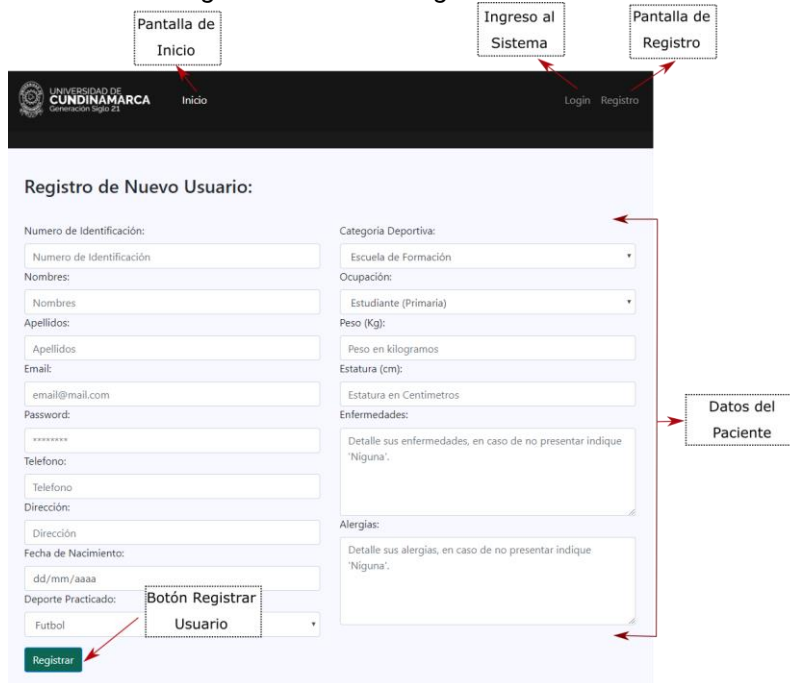


Fuente: Autor

4.3.7.2. Pantalla de Registro

En caso de no contar con un usuario dentro del sistema este deberá ser registrado en el aplicativo web como se muestra en la figura 66; una vez registrado se le asignará por defecto el rol de paciente.

Figura 66. Pantalla registro de usuario

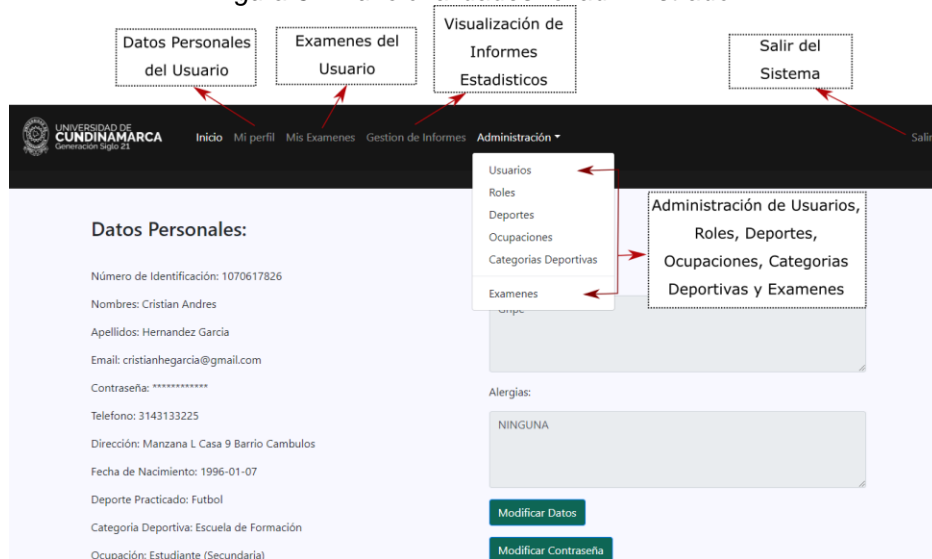


Fuente: Autor

4.3.7.3. Funcionalidades Rol Administrador

Como se ha definido dentro del diagrama de casos de uso el rol administrador cuenta con diferentes funcionalidades entre las que se destaca: la administración de categorías deportivas, deportes, ocupaciones, roles y usuarios. De igual modo el rol administrador cuenta con las funcionalidades básicas del rol paciente.

Figura 67. Funcionalidades rol administrador

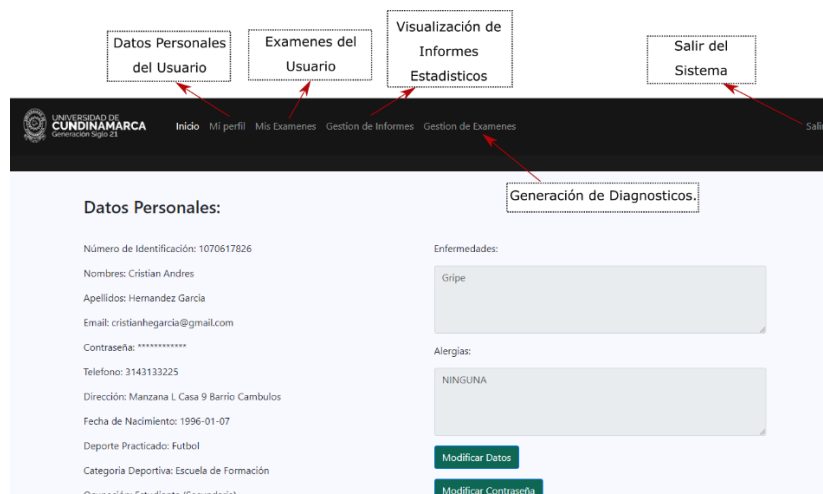


Fuente: Autor

4.3.7.4. Funcionalidades Rol Médico

Igualmente, como se definió en el apartado anterior el rol médico cuenta con funcionalidades especiales en las que se destaca la generación de diagnósticos.

Figura 68. Funcionalidades rol médico

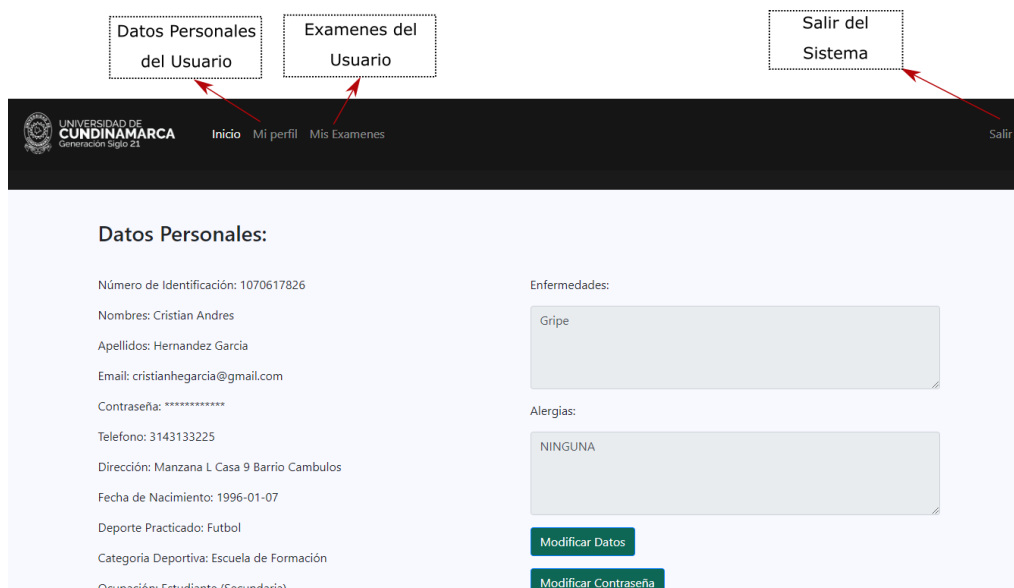


Fuente: Autor

4.3.5.6. Funcionalidades Rol Paciente

El rol paciente cuenta con las funcionalidades básicas del sistema siendo la visualización de datos personales y la visualización de exámenes históricos propios.

Figura 69. Funcionalidades rol paciente



Fuente: Autor

4.3.5.7. Pantalla Exámenes Históricos

Entre las funcionalidades básicas del sistema se encuentra la visualización de exámenes históricos Figura 70. En este apartado se puede visualizar cada uno de los exámenes capturados y sus respectivos resultados Figura 71.

Figura 70. Pantalla visualización de exámenes

#	Fecha	Pie Izquierdo	Pie Derecho	% Pie Izquierdo	% Pie Derecho
1	2018-10-28	Normal	Normal	49	44
2	2018-10-28	Normal	Normal	49	44

Fuente: Autor

Figura 71. Visualización de examen con resultados

Mis Exámenes:

Observaciones:

Medico: Cristian Andres Hernandez Garcia

Observación: Se le asigno un diagnostico al examen.

Medico: Cristian Andres Hernandez Garcia

Observación: hgh'h'g'g'

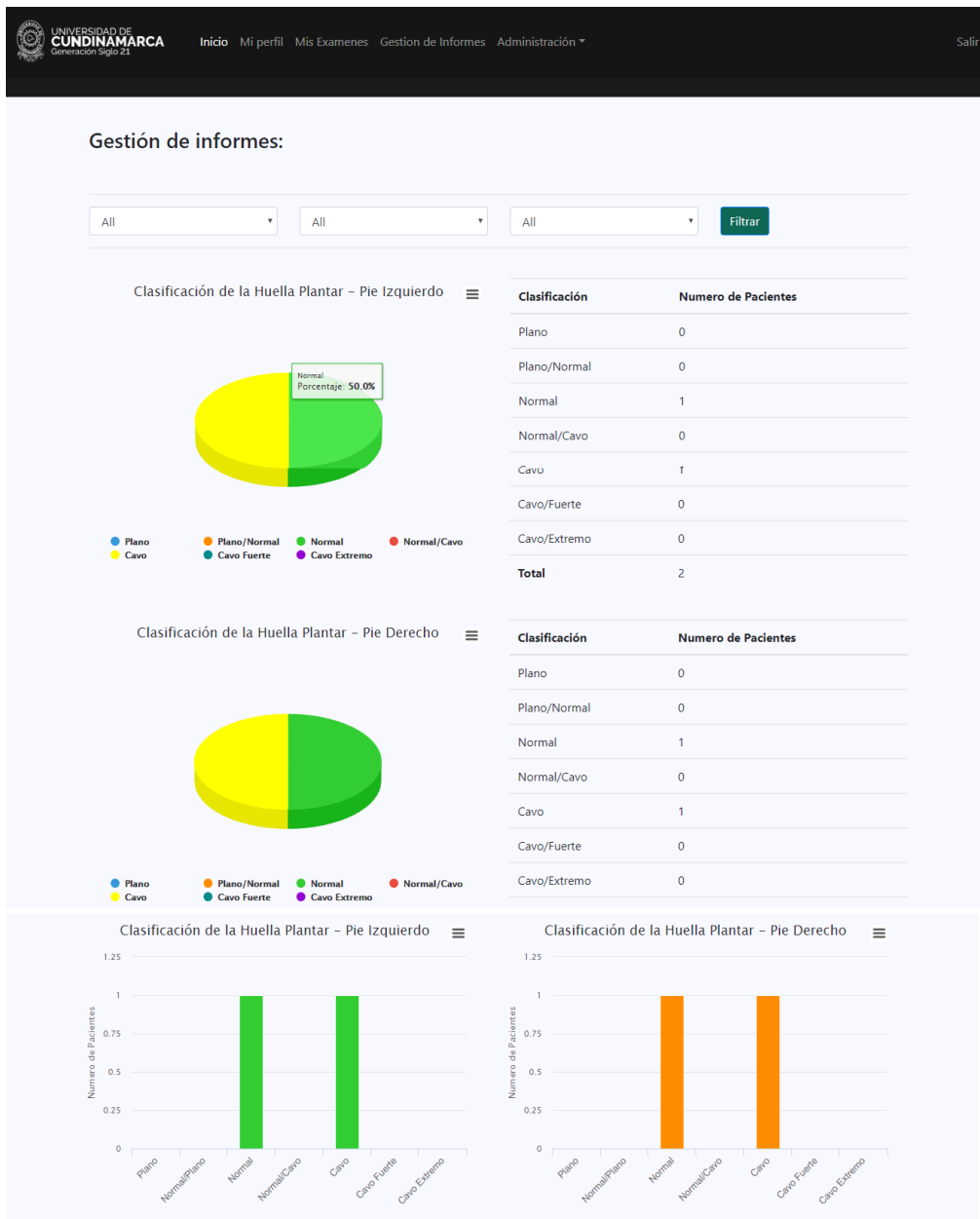
Resultados Pie Izquierdo:		Resultados Pie Derecho:	
Clasificación	Normal	Clasificación	Normal
% de Corvo	49	% de Corvo	44
Valor X	224	Valor X	220
Valor Y	115	Valor Y	124

Fuente: Autor

4.3.5.8. Pantalla Informes Estadísticos

Una de las funcionalidades especiales del sistema es la posibilidad de generación de informes estadísticos tipo torta y barra con los resultados de los pacientes registrados en el mismo. De igual modo estos informes estadísticos pueden ser filtrados por categorías deportivas, ocupaciones y deportes. El desarrollo de estos gráficos fue manejados gracias al uso de la librería highcharts (Highcharts, s.f.).

Figura 72. Visualización de informes estadísticos



Fuente: Autor

4.3.5.9. Pantalla Administración de Usuarios

Dentro de las funcionalidades del administrador se encuentra la posibilidad de administración de usuarios otorgando la posibilidad de cambiar roles, reestablecer contraseñas, visualizar datos personales y modificar los datos de estos como se muestra en la siguiente figura.

Figura 73. Pantalla de administración de usuarios

N° Identificación	Nombres	Apellidos	Email	Telefono	Dirección	Rol	Cambio de Rol	Reestablecer Contraseña
1070617826	Cristian Andres	Hernandez Garcia	cristianhegarcia@gmail.com	3143133225	Manzana L Casa 9 Barrio Cambulos	Administrador		
1069	Neil	Cubillo	neilcc20@gmail.com	41421	hghsgdfgsjd	Paciente		
1071550664	Neil	Cubillos	neilcc20@gmail.com	3132919488	Arbelaez	Paciente		

Fuente: Autor

4.3.5.10. Pantalla Administración de Roles, Deportes, Ocupaciones y Categorías Deportivas

Los módulos de administración de roles, deportes, ocupaciones y categorías deportivas son idénticos; en estos módulos es posible añadir un nuevo registro, modificar los mismos y del mismo modo activarlos o inactivarlos.

Figura 74. Pantalla administración de módulos

Nombre Rol:

Nombre del Rol

Descripción:

Descripción del Rol

Registrar

#	Nombre	Descripción	Editar	Activar/Desactivar
1	Administrador	Usuario con acceso total al sistema.		
2	Medico	Usuario encargado de la		

Fuente: Autor

4.3.5.11. Pantalla Generación de Diagnósticos

Como se mencionó dentro de las funcionalidades del sistema se estableció la posibilidad de generar diagnósticos por parte de los usuarios de rol médico a los diferentes exámenes tomados por la aplicación. Como se puede observar en la Figura 75, se visualiza la lista de exámenes guardados dentro del aplicativo web y se adiciona la posibilidad de añadir un nuevo diagnostico; de igual modo en la parte superior se enlistan los exámenes pendientes por diagnosticos los cuales son los capturados por un usuario tipo auxiliar.

Figura 75. Pantalla generación de diagnósticos

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
Generación Siglo 21

Inicio Mi perfil Mis Exámenes Gestion de Informes Gestion de Exámenes Salir

Exámenes Pendientes de Diagnostico

Exámenes Pendientes:

#	Fecha	Pie Izquierdo	Pie Derecho	% Pie Izquierdo	% Pie Derecho
---	-------	---------------	-------------	-----------------	---------------

Exámenes:

#	Fecha	Pie Izquierdo	Pie Derecho	% Pie Izquierdo	% Pie Derecho	Generación de Diagnostico
15	2018-10-28	Normal	Normal	49	44	[Icon]
16	2018-10-28	Normal	Normal	49	44	[Icon]
17	2018-10-29	Cavo	Cavo	62	66	[Icon]

Lista de Exámenes dentro del Aplicativo

Generación de Diagnostico

Fuente: Autor

5. Capítulo 5: Análisis de Resultados

Para la validación del dispositivo implementado junto con el software desarrollado, se procedió a la toma de muestras con un total de 35 individuos y 70 huellas pertenecientes principalmente a estudiantes del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Cundinamarca. Dichas muestras se tomaron mediante el método manual aplicando pintura tipo vinilo en el área compuesta por la huella plantar vs el dispositivo implementado como se muestra en la figura 66.

Figura 76. Huella plantar manual vs dispositivo



Fuente: Autor

Una vez recolectadas las 70 muestras se agruparon dentro de la tabla evidenciada a continuación. Donde se encuentra almacenada los resultados del índice de corvo y su clasificación de forma manual vs dispositivo.

Tabla 8. Resultados manuales vs dispositivo

N° Pie	% Corvo Pie (Manual)	Clasificación (Manual)	% Corvo Pie (Dispositivo)	Clasificación (Dispositivo)
1	56	Pie Normal/Cavo	61	Pie Cavo
2	58	Pie Cavo	52	Pie Normal
3	52	Pie Normal	56	Pie Normal/Cavo
4	60	Pie Cavo	61	Pie Cavo
5	55	Pie Normal/Cavo	50	Pie Normal
6	54	Pie Normal	69	Pie Cavo
7	99	Pie Cavo extremo	100	Pie Cavo extremo
8	59	Pie Normal/Cavo	63	Pie Cavo
9	61	Pie Cavo	63	Pie Cavo

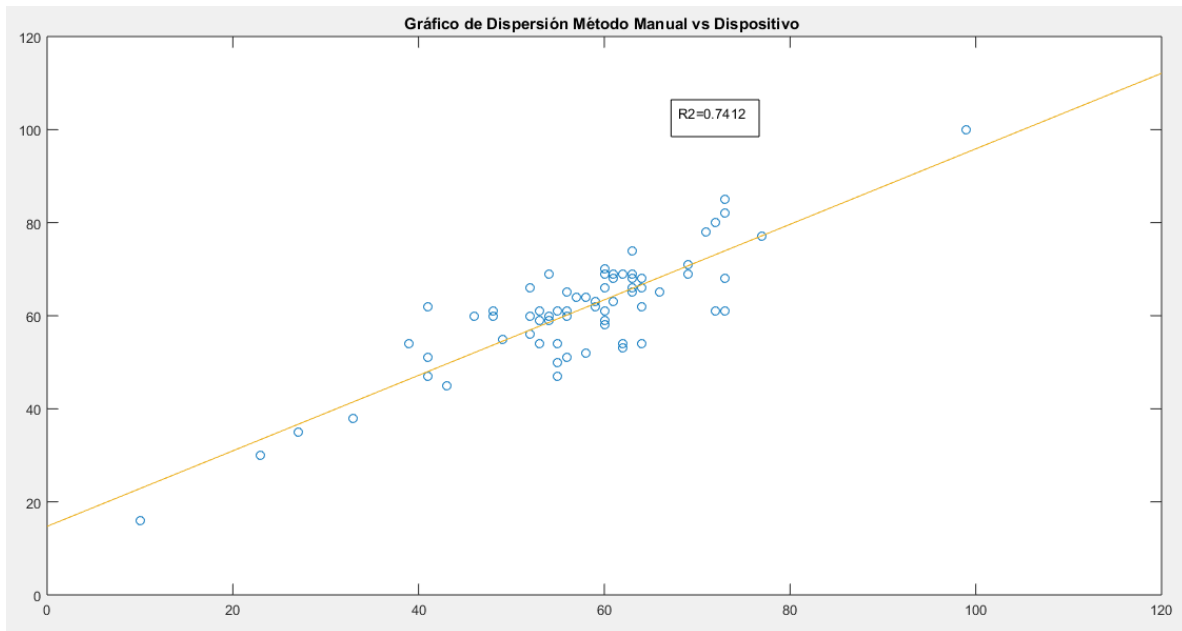
N° Pie	% Corvo Pie (Manual)	Clasificación (Manual)	% Corvo Pie (Dispositivo)	Clasificación (Dispositivo)
10	57	Pie Normal/Cavo	64	Pie Cavo
11	43	Pie Normal	45	Pie Normal
12	54	Pie Normal	59	Pie Normal/Cavo
13	61	Pie Cavo	69	Pie Cavo
14	55	Pie Normal/Cavo	61	Pie Cavo
15	61	Pie Cavo	68	Pie Cavo
16	55	Pie Normal/Cavo	54	Pie Normal
17	63	Pie Cavo	68	Pie Cavo
18	72	Pie Cavo	80	Pie Cavo Fuerte
19	63	Pie Cavo	74	Pie Cavo
20	60	Pie Cavo	69	Pie Cavo
21	56	Pie Normal/Cavo	60	Pie Cavo
22	71	Pie Cavo	78	Pie Cavo Fuerte
23	52	Pie Normal	60	Pie Cavo
24	60	Pie Cavo	70	Pie Cavo
25	62	Pie Cavo	54	Pie Normal
26	41	Pie Normal	51	Pie Normal
27	56	Pie Normal/Cavo	65	Pie Cavo
28	62	Pie Cavo	69	Pie Cavo
29	60	Pie Cavo	58	Pie Normal/Cavo
30	27	Pie Plano	35	Pie Plano normal
31	33	Pie Plano	38	Pie Plano normal
32	64	Pie Cavo	68	Pie Cavo
33	56	Pie Normal/Cavo	51	Pie Normal
34	60	Pie Cavo	66	Pie Cavo
35	49	Pie Normal	55	Pie Normal/Cavo
36	41	Pie Normal	47	Pie Normal
37	72	Pie Cavo	61	Pie Cavo
38	54	Pie Normal	60	Pie Cavo
39	64	Pie Cavo	62	Pie Cavo
40	66	Pie Cavo	65	Pie Cavo
41	73	Pie Cavo	82	Pie Cavo Fuerte
42	53	Pie Normal	61	Pie Cavo
43	64	Pie Cavo	62	Pie Cavo
44	60	Pie Cavo	59	Pie Normal/Cavo
45	23	Pie Plano	30	Pie Plano
46	46	Pie Normal	60	Pie Cavo
47	58	Pie Normal/Cavo	64	Pie Cavo

N° Pie	% Corvo Pie (Manual)	Clasificación (Manual)	% Corvo Pie (Dispositivo)	Clasificación (Dispositivo)
48	53	Pie Normal	59	Pie Normal/Cavo
49	69	Pie Cavo	69	Pie Cavo
50	48	Pie Normal	61	Pie Cavo
51	63	Pie Cavo	65	Pie Cavo
52	53	Pie Normal	59	Pie Normal/Cavo
53	64	Pie Cavo	66	Pie Cavo
54	73	Pie Cavo	68	Pie Cavo
55	63	Pie Cavo	69	Pie Cavo
56	62	Pie Cavo	53	Pie Normal
57	53	Pie Normal	54	Pie Normal
58	77	Pie Cavo Fuerte	77	Pie Cavo Fuerte
59	41	Pie Normal	62	Pie Cavo
60	64	Pie Cavo	54	Pie Normal
61	52	Pie Normal	66	Pie Cavo
62	55	Pie Normal/Cavo	47	Pie Normal
63	59	Pie Normal/Cavo	62	Pie Cavo
64	48	Pie Normal	60	Pie Cavo
65	73	Pie Cavo	61	Pie Cavo
66	63	Pie Cavo	66	Pie Cavo
67	10	Pie Plano	16	Pie Plano
68	39	Pie Plano normal	54	Pie Normal
69	69	Pie Cavo	71	Pie Cavo
70	73	Pie Cavo	85	Pie Cavo extremo

Fuente: Autor

Para la correlación de los datos se apoyó mediante la creación de un diagrama de dispersión observando los diferentes resultados y la línea de tendencia graficada por el software MATLAB como se puede observar en la Figura 67.

Figura 77. Gráfico de dispersión



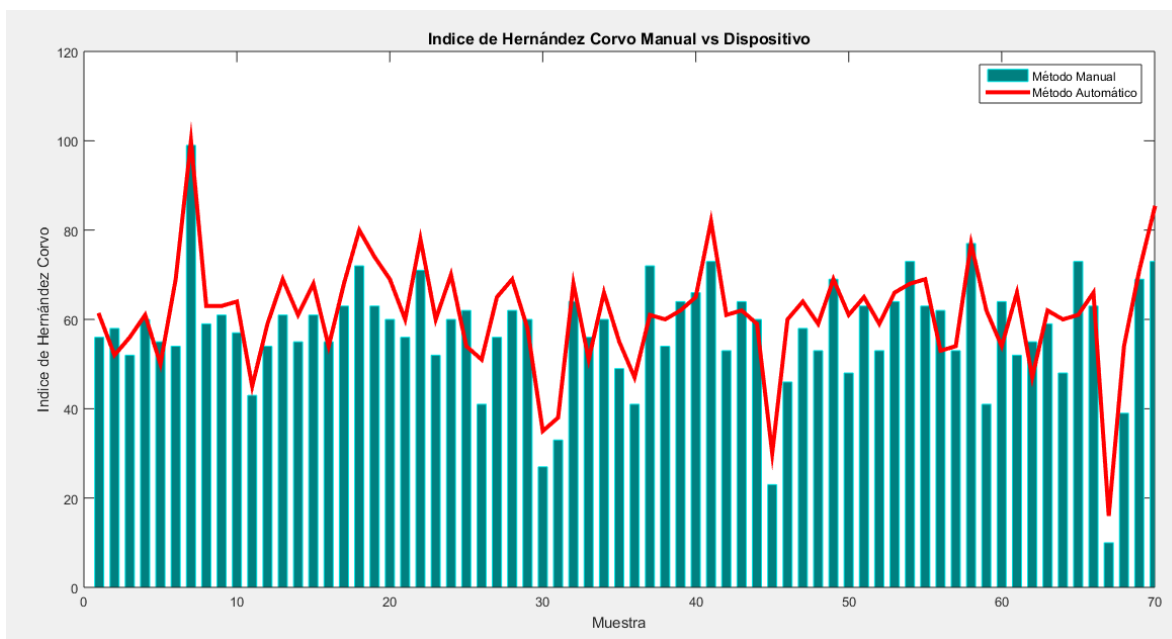
Fuente: Autor

Una vez analizado el gráfico obtenido se pudo concluir que se obtuvo un coeficiente de determinación " R^2 " del 0,7412; este coeficiente se define como la proporción de la varianza total de la variable por la regresión y refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar (Economipedia, s.f.). Es decir que tan cercano fueron los resultados obtenidos por el dispositivo respecto a los tomados de forma manual.

Con un valor del 0,7412 en el coeficiente de determinación, los resultados obtenidos con el dispositivo lograron una correlación cercana al 75% respecto a los tomados de forma manual, es decir estuvieron cercanos unos de los otros en un 74,12%, siendo este un valor aceptable tomando también en cuenta lo propenso a fallos del método manual.

Finalmente, se agruparon los datos obtenidos mediante el método manual y el automático en un gráfico unificado con el cual se observó la relación y cercanía entre los datos.

Figura 78. Gráfico relación método manual vs automático



Fuente: Autor

En el gráfico mostrado en la figura anterior se puede evidenciar la cercanía entre los datos manuales (diagrama de barras azul) versus los resultados obtenidos de forma automática (diagrama lineal color naranja). Observando que la correlación entre los datos es alta exceptuando un par de muestras en los datos número 38 y 60.

6. Conclusiones

Mediante el desarrollo de la presente investigación se demostró la inclusión de las técnicas de procesamiento de imágenes en diferentes aspectos y áreas; en este caso particular en las ciencias salud, permitiendo el desarrollo de un dispositivo para el análisis de la huella plantar. El uso de estas nuevas tecnologías ha permitido en gran medida la optimización de procesos convencionalmente efectuados de forma manual sujetos a errores de carácter humano.

El objetivo principal del proyecto buscaba un cambio y mejora en el procedimiento llevado a cabo dentro de la Universidad de Cundinamarca para el análisis de la huella plantar siendo este de forma manual. Con el desarrollo de la presente investigación se logró obtener un cambio en la técnica implementada, mediante el uso de un dispositivo con el cual los tiempos de análisis de la huella plantar están siendo reducidos aproximadamente a dos minutos, la utilización de pinturas y tintas están siendo eliminadas y se brinda una mayor comodidad para el usuario. Además, con la implementación de este nuevo dispositivo permitirá una mayor confiabilidad de los resultados debido a la reducción de los errores de carácter humano y un seguimiento de estos mediante el aplicativo web.

Una vez aplicada la fase de validación del sistema y obteniendo un coeficiente de determinación del 0,7412 tras aplicar la correlación del sistema versus el método convencional, se pudo observar una cercanía entre las dos técnicas del 74%, siendo este un porcentaje aceptable para realizar un cambio de la técnica empleada actualmente para el análisis de la huella plantar en la Universidad de Cundinamarca.

Como trabajo futuro se considera apropiado realizar una segunda validación del sistema mediante una correlación con plataformas semejantes presentes en el mercado actual y observar la variación en el índice del coeficiente de determinación entre los dos dispositivos.

La integración de análisis adicionales al dispositivo desarrollado, por ejemplo, análisis baropodoscópico y análisis de tobillo, permitirá la identificación de medidas adicionales para la determinación de alteraciones en la postura de los usuarios y un mejor seguimiento de estos. Estas medidas suelen ser complementarias y brindaran un análisis más completo para la comunidad en específico, siendo en este caso particular los estudiantes de la licenciatura en educación física que buscan en su gran mayoría ser deportistas de alto rendimiento.

El aplicativo web desarrollado permitirá la trazabilidad de los resultados obtenidos por paciente y su evolución a lo largo del tiempo según los tratamientos

recomendados por el especialista a cargo. Además, permitirá la generación de datos estadísticos primordiales para investigaciones posteriores en temas relacionados con alteraciones de la huella plantar en comunidades específicas como: deportistas, infantiles, miembros de escuelas de formación, adultos, comunidades sedentarias, etc.

Bibliografía

- Aliexpress. (s.f.). *Aliexpress*. Obtenido de <https://best.aliexpress.com>
- Bluetooth. (s.f.). *Specifications*. Obtenido de <https://www.bluetooth.com/specifications>
- Bpi Home. (s.f.). *M3 Specifications*. Obtenido de <http://www.banana-pi.org/m3.html>
- Buchelly, F., Mayorca, D., Ballarín, V., & Pastore, J. (2016). Digital image processing techniques applied to pressure analysis and morphological features extraction in footprints. *Journal of Physics: Conference Series*, 705(1), 11.
- Cámara Pérez, J. C. (Enero de 2010). *Importancia del análisis de la huella plantar por el profesor de Educación Física ante el riesgo de lesiones: una herramienta para la identificación del tipo de pie*. Obtenido de <https://www.efdeportes.com/efd140/importancia-del-analisis-de-la-huella-plantar.htm>
- Campillos, J. A. (21 de Abril de 2015). *Huella plantar, biomecánica del pie y del tobillo: propuesta de valoración*. Obtenido de <https://g-se.com/huella-plantar-biomecanica-del-pie-y-del-tobillo-propuesta-de-valoracion-bp-b57cfb26db4ec3>
- Chen, J., Paris, S., & Durand, F. (2007). Real-time edge-aware image processing with the bilateral grid. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 26(3), 103-112.
- Chen, Q., & He, C. (2013). Variational segmentation model for images with intensity inhomogeneity and Poisson noise. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2013(1), 28-39.
- Clínica Martín Gómez. (s.f.). *Lesiones de pie*. Obtenido de <https://clinicamartingomez.es/lesiones-de-pie/>
- Cubieboard. (s.f.). *Models*. Obtenido de <http://cubieboard.org/model/>
- Descatoire, A., Thévenon, A., & Moretto, P. (2009). Baropodometric information return device for foot unloading. *Medical engineering & physics*, 31(5), 607-613.
- Díaz, C. A., Torres, A., Ramírez, J. I., García, L. F., & Álvarez, N. (2006). Descripción de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento de imágenes: Fase I. *Revista EIA*(6), 43-55.
- Economipedia. (s.f.). *Coeficiente de determinación (R cuadrado)*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html>
- Flores, L. A., Vidal, V., Mayo, P., Rodenas, F., & Verdú, G. (2014). Parallel CT image reconstruction based on GPUs. *Radiation Physics and Chemistry*, 95, 247-250.
- FotoNostra. (s.f.). *La imagen digital*. Obtenido de <https://www.fotonostra.com/digital/imagendigital.htm>
- Garavito, A. L. (18 de Octubre de 2016). *Clase 15 - Huella Plantar*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/analidagaravito/clase-15-67368853>

- González, D. (s.f.). *FisioOnline Todo Sobre Fisioterapia*.
- Hardkernel. (s.f.). *ODROID-XU4*. Obtenido de <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-xu4-special-price/>
- Hernández Corvo, R. (1989). *Morfología funcional deportiva: sistema locomotor*. Badalona, España: Paidotribo.
- Highcharts. (s.f.). *Highcharts Demos*. Obtenido de <https://www.highcharts.com/>
- Lattepanda. (s.f.). *Products: Lattepanda*. Obtenido de <https://www.lattepanda.com/products>
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., . . . Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical image analysis, 42*, 60-88.
- Luengas, L. A., Díaz, M. F., & González, J. L. (2016). Determinación de tipo de pie mediante el procesamiento de imágenes. *Ingenium, 17*(34), 147-161.
- Maestre Rendon, J., Rivera Roman, T., Sierra Hernández, J., Cruz Aceves, I., Contreras Medina, L., Duarte Galvan, C., & Fernández Jaramillo, A. (2017). Low Computational-Cost Footprint Deformities Diagnosis Sensor through Angles, Dimensions Analysis and Image Processing Techniques. *Sensors, 17*(11), 2700-2717.
- Martínez, E. (21 de Julio de 2007). *Protocolo Ethernet*. Obtenido de <http://www.eveliux.com/mx/curso/protocolo-ethernet-parte-1.html>
- Medina, R., Zeas, A., Morocho, V., & Bautista, S. (2017). Footprint analysis using a low cost photo-podoscope. *2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 1-6.
- Norfipc. (s.f.). *Tipos de redes y estándares Wi-Fi, sus diferencias*. Obtenido de <https://norfipc.com/redes/tipos-redes-estandares-wi-fi-diferencias.php>
- Pico Tibaosa, J. S., & Rey Pulido, E. A. (2016). *Diseño e implementación de una plataforma baropodométrica para medición de puntos de presión plantar en bipedestación con visualización en ordenador a partir de un sistema de adquisición*. Bogota: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Pineda López, F., Guerra, A., Montes, E., & Benítez, D. (2016). A low cost baropodometric system for children's postural and gait analysis. *IEEE Xplore, 1-4*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7516381>
- Rakvic, R. N., Ngo, H., Broussard, R. P., & Ives, R. W. (2010). Comparing an FPGA to a Cell for an Image Processing Application. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010*, 28-35.
- Ramirez Bautista, J. A., Huerta Ruelas, J. A., Chaparro Cárdenas, S. L., & Hernández Zavala, A. (2017). A review in detection and monitoring gait disorders using in-shoe plantar measurement systems. *IEEE reviews in biomedical engineering, 10*, 299-309.
- Raspberry Pi. (s.f.). *Raspberry Pi 3 Model B+*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

- Revista educativa Partesdel.com, equipo de redacción profesional. . (Febrero de 2017). *Partes del pie*. Obtenido de https://www.partesdel.com/partes_del_pie.html
- Sepeape Pediatría Integral. (Septiembre de 2014). *Sepeape Pediatría Integral*.
- Tamayo Ortiz, H. (19 de Abril de 2018). *Preocupa aumento del exceso de peso de niños en la ciudad*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/preocupa-aumento-del-exceso-de-peso-de-ninos-en-la-ciudad-207006>
- Trombini Souza, F., Ribeiro, A. P., Iunes, D. H., & Monte Raso, V. V. (2009). Correlações entre as estruturas dos membros inferiores. *Fisioterapia e Pesquisa*, 16(3), 205-210.
- Up Core. (s.f.). *Catalog*. Obtenido de <https://up-shop.org/29-up-core>
- Wainschenker, R., Massa, J. M., & Tristan, P. (s.f.). *Procesamiento Digital de imágenes - Clase Teórico Práctica N° 1*. Obtenido de <http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/pdi/FILES/TE/CP1.pdf>
- Yeras, A. M. (2013). Iluminación Estructurada: una Herramienta para el Estudio Morfológico del Pie. V *Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba*, 991-994.
- Zigbee Alliance. (s.f.). *Zigbee 3.0*. Obtenido de <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0/>

Anexos

Anexo 1 (Análisis de requisitos IEEE 830) – Adjunto en Formato PDF

Especificación de requisitos de software

Proyecto: Desarrollo de un sistema para la identificación de alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar.



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

Mayo de 2018

Anexo 2 (Estudios Comparativos)

Estudio Comparativo de computadoras de placa reducida para la integración con sistemas embebidos.

Los sistemas embebidos a lo largo de los años debido a la drástica necesidad de solucionar problemas y optimizar procesos mediante el desarrollo tecnológico se han convertido la mejor alternativa de aplicación; aunque para muchos resulte ser un término desconocido cada día están más integrados en nuestra vida diaria.

El funcionamiento de un sistema embebido está basado principalmente en el uso de computadoras de placa reducida integrando en esta principalmente diferentes periféricos, módulos de entrada con sensores y módulos de salida conectados a diferentes actuadores. A diferencia de una computadora convencional, los sistemas embebidos están diseñados para llevar a cabo una limitada cantidad de tareas y funciones; mientras que una computadora está diseñada para satisfacer un rango más amplio de funciones y de mayor complejidad y procesamiento.

En el presente estudio comparativo se analizarán diferentes tipos de computadoras de placa reducida presentes en el mercado actual, con el objetivo de seleccionar e implementar una placa que satisfaga los requisitos para la construcción y desarrollo de un podoscopio para la identificación de alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar.

Se estudiarán las placas más utilizadas por la comunidad de desarrollo tecnológico en el mundo; entre estas: Cubieboard, Raspberry pi, Banana pi, Odroid, UP Core y Lattapanda. Se abordarán diferentes características y se les asignará un porcentaje según el grado de importancia dentro del proyecto; los atributos seleccionados se detallarán a continuación.

- **Conectividad – 30%:** Se le asigna un porcentaje de 30% a este apartado siendo esta la característica de mayor importancia dentro de los requisitos de la computadora de placa reducida a seleccionar. Se considerará la posibilidad de conectividad por Ethernet (10%), Wifi (10%) y Bluetooth (10%). Esta característica es fundamental para la conexión del podoscopio con demás dispositivos como teléfonos celulares y computadoras; con el objetivo de enviar las huellas plantares capturadas y los resultados obtenidos.
- **Recursos de Procesamiento – 30%:** Se tomarán los atributos de mayor relevancia como velocidad y número de núcleos del procesador (10%), tamaño de la memoria RAM (10%) y el tipo de GPU (10%). Estas características son de importancia dentro del proceso para una mejora en la velocidad de ejecución de los procesos como captura de imágenes y procedimientos de procesamiento de imágenes dentro de estas.

- **Numero de Puertos USB – 6%:** Con un porcentaje de 6% la cantidad de puertos USB serán considerados para la posibilidad de conexión de diferentes cámaras para la captura de la huella plantar o conexión de otros dispositivos periféricos.
- **Sistemas operativos – 8%:** Se considerará con mayor importancia la posibilidad de uso de sistemas operativos basados en Linux para el uso de software libre.
- **Comunidad – 8%:** La comunidad es otro factor que tomar en cuenta para la selección del tipo de computadora de placa reducida; esta característica es de importancia para la solución de problemas y soporte. La comunidad será analizada mediante el uso Google Trends con registros en los últimos 5 años y se observará su crecimiento.
- **Almacenamiento – 6%:** Se analizará el tamaño de memoria interna (3%) y externa (3%); este factor será considerado para el almacenamiento de información de forma temporal.
- **Puertos GPIO – 5%:** Se considerará el uso de puertos GPIO para procesos adicionales como encendido y apagado de la iluminación.
- **Precio – 3%:** El precio no será considerado un factor de mayor relevancia, pero será analizado para un análisis precio-beneficio.
- **Audio y Video – 2%:** Este factor será tomado como referencia para una posibilidad posterior de integración de pantalla de video o de salida de audio.
- **Gestión Energética – 2%:** Se analizará el tipo de alimentación y su consumo energético; esta característica será tomada para analizar el diseño eléctrico del dispositivo.

1. Computadora de placa reducida Cubieboard

Esta placa fue lanzada en octubre de 2012 por la empresa Cubieboard en Zhuhai, Guangdong, China, entre sus principales características se encuentra el uso de procesadores de la familia Cortex muy populares en teléfonos móviles; de igual manera soporta diferentes sistemas operativos como: Android 4 ICS, Ubuntu 12.04 versión de escritorio, Fedora 19 ARM Remix, Arch Linux ARM, Cubian basado en Debian y OpenBSD. A lo largo de su historia han sido lanzados diferentes modelos de placa que serán comparadas en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 9, Comparación Computadoras de Placa Reducida Cubieboard

Característica	Cubieboard 4	Cubieboard 6
CPU	ARM Cortex 2.0 GHz Octa – Core	ARM Cortex- A9 (32-bit) 1.2GHz Quad core
GPU	powervr 64-Core g6230	PowerVR SGX544
RAM	2 GB	2 GB
Memoria Interna	8 GB	8 GB
Memoria Externa	Micro SD hasta 64 GB	Micro SD hasta 64 GB
Video Output	HDMI 1080p	HDMI 1080p
Audio Output	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo
Conectividad	Ethernet RJ-45 Wifi 2.4 GHz/5.8GHz Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi 802.11 Bluetooth 4.0
GPIO	-	96 pines
Puertos USB	4	2
Sistemas Operativos	Android 4.2.2, Sistemas basados en Linux	Android 4.2.2, Sistemas basados en Linux
Alimentación	5v – 2.5 A	5v – 2.5A
Precio	\$344000	\$200000

Interés a lo largo del tiempo



Figura 79, Interés en los últimos 5 años - Cubieboard, Fuente: Google Trends

El soporte ofrecido por el fabricante es reducido, como también su comunidad es limitada principalmente en idioma inglés, japonés, alemán y ruso. Al realizar la comparación entre las tarjetas Cubieboard 4 y Cubieboard 6 sus diferencias se encuentran marcadas en la velocidad de procesamiento y sus costos; siendo la Cubieboard 6 una tarjeta más económica con la ventaja de contar con pines GPIO, pero con una velocidad de procesamiento menor. Observando el interés de Cubieboard en los últimos 5 años se analizar que en los últimos años su interés y comunidad ha decaído totalmente.

2. Computadora de placa reducida Raspberry Pi

La Raspberry Pi es un computador de placa reducida lanzada en el Reino Unido en el 2012 con el principal objetivo de fortalecer la enseñanza en temas de computación y tecnología; es una placa muy popular hoy en día con la principal cualidad de contar con un bajo precio.

Tabla 10, Comparación Computadoras de Placa Reducida Raspberry Pi

Característica	Raspberry Pi 2 B	Raspberry Pi 3 B+
CPU	ARM Cortex 900 MHZ.	Cortex-A53 64bits, 1.4GHz Quad Core
GPU	BROADCOM VIDEOCORE IV 250 MHZ.	BROADCOM VIDEOCORE IV 250 MHZ.
RAM	1 GB	1 GB
Memoria Interna	-	-
Memoria Externa	Micro SD hasta 32 GB	Micro SD hasta 32 GB
Video Output	HDMI 1920x1200	HDMI 1920x1200

Audio Output	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo
Conectividad	Ethernet RJ-45	Ethernet RJ-45 Wifi 2.4 GHz Bluetooth 4.0
GPIO	40 pines	40 pines
Puertos USB	4	4
Sistemas Operativos	Linux Raspbian	Linux Raspbian
Alimentación	5v – 0.82 A	5v – 1.4A
Precio	\$90000	\$120000

Interés a lo largo del tiempo



Figura 80, Interés en los últimos 5 años - Raspberry Pi, Fuente: Google Trends

Una de las características principales de esta placa es su bajo costo y su amplia comunidad en todo el mundo en diferentes lenguas incluyendo el español y el inglés. Cuenta con una gran comunidad activa en Colombia y en diferentes países latinoamericanos.

Como se muestra en la Figura 2 ha contado con un interés y una comunidad constante a lo largo de los últimos años, logrando hoy ser la placa más utilizada en el mundo. El modelo de la Raspberry Pi 3 B+ nos ofrece una conectividad Gigabit ethernet, Wifi y Bluetooth 4.0 además de una velocidad de procesamiento superior a la Raspberry Pi 2 con un costo superior pero no de mayor relevancia.

3. Computadora de placa reducida Banana pi

Las placas bananas pi son desarrolladas por la compañía China Shenzhen SINOVOIP Co. Ltd. Son placas de bajo costo inspiradas en Raspberry Pi, permitiendo así la instalación del sistema operativo Raspbian y demás sistemas Linux en estas.

Tabla 11, Comparación Computadoras de Placa Reducida Banana Pi

Característica	Banana Pi M2	Banana Pi M3
CPU	ARM Cortex Quad-core -A7 V40 1GHz	ARM Cortex-A7 Octa-core 1.8GHz
GPU	MALI-400 MP2 @ 500MHz	Mali400mp2, OpenGL ES 2.0/1.1 700 MHz
RAM	1 GB	2 GB
Memoria Interna	8 GB	8 GB
Memoria Externa	Micro SD hasta 64 GB	Micro SD hasta 64 GB
Video Output	HDMI 1920x1200	HDMI 1920x1200
Audio Output	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo
Conectividad	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0
GPIO	40 pines	40 pines
Puertos USB	4	2
Sistemas Operativos	Android y Linux	Android y Linux
Alimentación	5v – 1.7 A	5v – 2A
Precio	\$100000	\$190000

Interés a lo largo del tiempo



Figura 81, Interés en los últimos 5 años - Banana Pi, Fuente: Google Trends

Las computadoras de placa reducida de la familia banana pi han sido inspiradas en las famosas placas Raspberry pi con la diferencia de una mejora de características y una reducción de costos. Este tipo de placa soportan sistemas operativos basados en Linux y su

versión M3 nos ofrece una velocidad de procesamiento de 1.8 GHz con 8 núcleos; además de una memoria RAM de 2 Gb, contando de igual manera con conectividad ethernet, wifi y bluetooth.

Como se muestra en la figura 3, las placas banana pi en los años 2014 y 2015 tuvieron su mayor auge, pero en los últimos años su interés ha ido disminuyendo.

4. Computadora de placa reducida Odroid

Las placas Odroid son una familia de computadoras de placa reducida lanzadas en Corea del Sur por la compañía Handkernel alrededor del año 2009. Este tipo de placas cuenta con la ventaja de soportar sistemas operativos basados en Linux y sistemas Android; siendo así su nombre una combinación de Open y Android.

Tabla 12, Comparación Computadoras de Placa Reducida Odroid

Característica	Odroid-C2	Odroid-XU4
CPU	ARM Cortex A53 1.5Ghz Quad core	Samsung Exynos5422 de 8 núcleos, 2Ghz.
GPU	Mali-450	Mali-T628 MP6
RAM	2 GB	2 GB
Memoria Interna	8 GB	8 GB
Memoria Externa	Micro SD	Micro SD
Video Output	HDMI	HDMI
Audio Output	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo
Conectividad	Ethernet RJ-45	Ethernet RJ-45
GPIO	40 pines	40 pines
Puertos USB	4	3
Sistemas Operativos	Android y Linux	Android y Linux
Alimentación	5v – 1.7 A	5v – 4A
Precio	\$130000	\$170000

Interés a lo largo del tiempo



Figura 82, Interés en los últimos 5 años - Odroid, Fuente: Google Trends

Las placas Odroid nos ofrece procesadores integrados con velocidades altas de procesamiento al igual del uso de 2GB de memoria RAM. La principal desventaja de estas placas es una conectividad únicamente por Ethernet, sin contar con wifi y Bluetooth, pero con la cualidad de ofrecer este tipo de conectividad con la integración periféricos externos. En la figura 4 se muestra la trayectoria de esta marca de placas logrando observar un interés alto y constante en los últimos años.

5. Computadora de placa reducida Up bridge the gap

Este tipo de placas son computadoras de placa reducida poco famosas en el mundo; siendo esta una compañía nueva con la principal ventaja de integrar procesadores de la familia Intel y soporte para sistemas operativos Windows.

Tabla 13, Comparación Computadoras de Placa Reducida Up board

Característica	Up Model	Up
CPU	Intel® Atom™ x5 Z8350, 1.92GHz	Intel Celeron Dual Core, 2.4 GHz
GPU	Intel HD 400 Graphics	Intel HD Graphic 500
RAM	1 GB	2 GB
Memoria Interna	16 GB	32 GB
Memoria Externa	-	-
Video Output	HDMI	HDMI
Audio Output	HDMI Audio 3,5 mm análogo Ethernet RJ-45	HDMI Audio 3,5 mm análogo Ethernet RJ-45
Conectividad	Wifi Bluetooth 4.0	Wifi Bluetooth 4.0
GPIO	40 pines	40 pines
Puertos USB	4	2

Sistemas Operativos	Windows 10, Android y Linux	Windows 10, Android y Linux
Alimentación	5v – 3 ^a	5v – 6A
Precio	\$280000	\$430000

Interés a lo largo del tiempo



Figura 83, Interés en los últimos 5 años - Up board, Fuente: Google Trends

Las placas de la compañía Up nos ofrece la característica de soportar sistemas operativos de Microsoft como el Windows 10; cuenta con procesadores de la familia Intel con altas velocidades de procesamiento respecto a otras placas. Su principal desventaja es un alto costo en sus placas y poca popularidad como se muestra en la figura 5 y 8.

6. Computadora de placa reducida Lattepanda

Lattepanda es una computadora de placa reducida desarrollada por la compañía China DFRobot con el principal objetivo de ofrecer una placa económica con compatibilidad para el sistema operativo Windows 10.

Tabla 14, Comparación Computadoras de Placa Reducida Lattepanda

Característica	Lattepanda
CPU	Intel Cherry Trail Z8350 Quad Core 1.8GHz
GPU	Intel HD Graphics 500 MHz
RAM	2 GB
Memoria Interna	32 GB
Memoria Externa	-
Video Output	HDMI
Audio Output	HDMI Audio 3,5 mm análogo
Conectividad	Ethernet RJ-45 Wifi

GPIO	Bluetooth 4.0
Puertos USB	40 pines
	3
Sistemas Operativos	Windows 10, Android y Linux
Alimentación	5v – 2A
Precio	\$260000

Interés a lo largo del tiempo



Figura 84, Interés en los últimos 5 años - Lattepan da, Fuente: Google Trends

Lattepan da es una placa que ofrece un procesador de la familia Intel con una velocidad de 1.8 GHz. Entre sus características se encuentra la posibilidad de integrar Windows 10 y una placa integrada Arduino Leonardo. Es una empresa pequeña y nueva como se muestra en la figura 6, con solo una placa en el mercado.

7. Tabla comparativa de Computadoras de placa reducida

En la siguiente tabla comparativa se relacionarán las tarjetas con mejores recursos de las diferentes marcas descritas anteriormente y se evaluarán según los porcentajes establecidos al inicio del presente estudio comparativo.

Tabla 15, Comparación Computadoras de Placa Reducida

Característica	Cubieboard 6	Raspberry Pi 3 B+	Banana Pi M3	Odroid-XU4	Up Model	Lattepan da
CPU (10%)	ARM Cortex-A9 (32-bit) 1.2GHz Quad core (1)	Cortex-A53 64bits, 1.4GHz Quad Core	ARM Cortex-A7 Octa-core 1.8GHz	Samsung Exynos5422 de 8 núcleos, 2Ghz.	Intel® Atom™ x5 Z8350, 1.92GHz	Intel Cherry Trail Z8350 Quad Core 1.8GHz
GPU (6%)	PowerVR SGX544	BROADCOM VIDEOCO	Mali400m p2, OpenGL	Mali-T628 MP6	Intel HD 400 Graphics	Intel HD Graphics 500 MHz

		RE IV 250 MHZ.	ES 2.0/1.1 700 MHz			
RAM (10%)	2 GB	1 GB	2 GB	2 GB	1 GB	2 GB
Memoria Interna (3%)	8 GB	8 GB	8 GB	8 GB	16 GB	32 GB
Memoria Externa (3%)	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD	-	-
Video Output (1%)	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI	HDMI
Audio Output (1%)	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo	HDMI Audio 3,5 mm análogo
Conectiv idad (30%)	Ethernet RJ-45 Wifi 802.11 Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi 2.4 GHz Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0	Ethernet RJ-45 Wifi Bluetooth 4.0
GPIO (5%)	96 pines	40 pines	40 pines	40 pines	40 pines	40 pines
Puertos USB (10%)	2	4	2	3	4	3
Sistemas Operati vos (8%)	Android, Sistemas basados en Linux	Linux Raspbian	Android y Linux	Android y Linux	Windows 10, Android y Linux	Windows 10, Android y Linux
Aliment ación (2%)	5v – 2.5 ^a	5v – 1.4A	5v – 2A	5v – 4A	5v – 3A	5v – 2A
Precio (3%)	\$200000	\$120000	\$190000	\$170000	\$280000	\$260000

Del mismo modo se realizó una comparación mediante la ayuda de Google Trends del interés de cada una de las marcas antes seleccionadas. En esta comparación se tomaron en cuenta solo los últimos 12 meses y se excluyó Raspberry Pi debido a su alta influencia en el mercado actual.

Interés a lo largo del tiempo

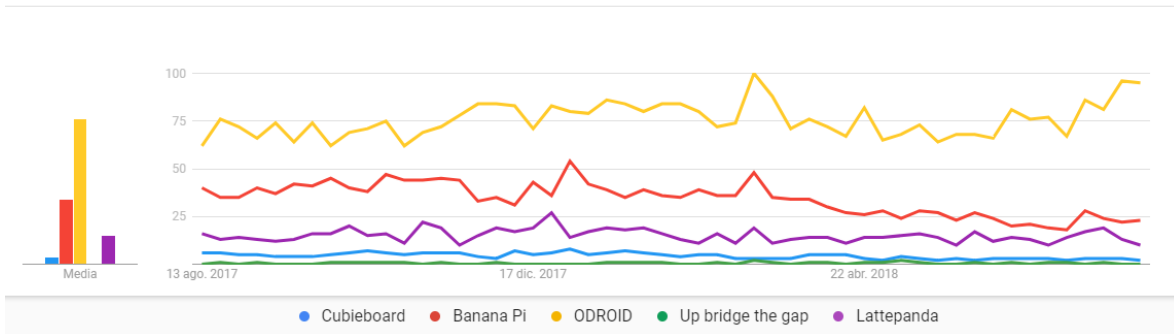


Figura 85, Comparación de Interés en los últimos 12 meses de Diferentes SBC, Fuente: Google Trends

Con los resultados obtenidos en la figura 7 se observó que las placas de la familia Odroid actualmente cuentan con un gran interés por la comunidad respecto a otras placas como la Banana Pi y las placas Cubieboard.

Tomando como referencia las placas de la familia Raspberry Pi se compararon con las de la familia Odroid, observando su alta influencia e interés en la comunidad como se muestra en la figura 8.

Interés a lo largo del tiempo

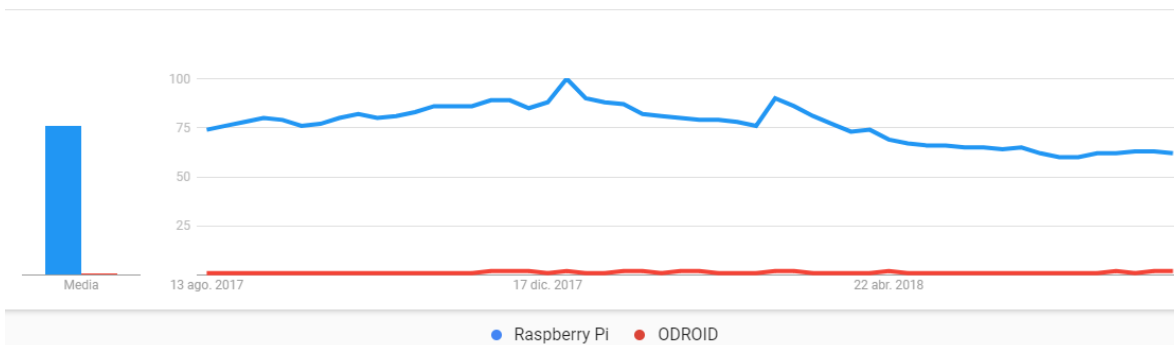


Figura 86, Comparación en los últimos 12 meses Raspberry Pi vs Odroid, Fuente: Google Trends

Finalizando el presente estudio comparativo la mejor opción presentada en el mercado actual y tomando como referencia los requisitos necesarios, se llegó a la conclusión que la placa que satisface las necesidades presentadas fue la “Banana PI M3” debido a sus recursos de procesamiento y sus diferentes métodos de conectividad; además de contar con el soporte para el uso de sistemas basados en Linux.

Estudio Comparativo de Cámaras Digitales

Las cámaras digitales surgieron con la proliferación y constante demanda de tecnología de esta índole, sus primeras apariciones fueron hace cerca de 40 años con fines netamente de ocio, posteriormente para comunicaciones cibernéticas, y finalmente gracias a ordenadores robustos y sensores en general, se dio origen a la inteligencia artificial, y con ello el desarrollo de cámaras adecuadas para esta aplicación, con características variadas como, distorsión, foco, distancias focales, cambios de brillo, resolución, conectividad, entre otras.


Para aplicaciones de visión artificial mediante procesamiento de imágenes existen diversos módulos que se adaptan a computadoras convencionales o de placa reducida, con los estándares de comunicación y conectividad.

Para la captura de la imagen se implementará una cámara que, en conjunto con la iluminación, permitirá la obtención de la huella plantar, las características que esta debe cumplir son:

- Resolución moderada de pixeles, que permita capturar imágenes de calidad con el menor peso
- Longitud foca mínima, para reducir la altura del dispositivo
- Enfoque de preferencia automático, adaptable por códigos.
- Buena relación en su costo y beneficio.
- Conectividad USB
- FPS
- Alta velocidad de transferencia de datos
- Físicamente reducida

Se compararon 6 cámaras comerciales que según sus características se podrían adaptar al proyecto, teniendo en cuenta su resolución, longitud focal, relación focal, valor comercial y comunicación, con el fin de optar por la mejor opción.

Tabla 16. Comparación Cámaras Digitales

Cámara	resolución	Longitud focal	Comunicación	Relación focal	Valor comercial
Camara para Raspberry Pi V2 	8 Mp	3.04 mm		2.0	\$90.000

Módulo de visión
webcam Sony IMX179



8 Mp 3.6 mm USB Varifocal \$170.000

Aptina MI5100 no
distorsion



5 Mp 2.1 mm USB manual \$180.000

2MP módulo de cámara
con luz de Flash



5 Mp 2.8 mm USB Auto \$390.000

videocámara SQ12



2Mp 2.3 mm USB Auto \$58.000

De las cámaras preseleccionadas se opta por la Aptina MI5100 no distorsión ya que su longitud focal es mínima, con 5Mp es considerablemente de buena resolución y un precio medio.

Observando los datos de enfoque y por anteriores experiencias se decide implementar un sistema de doble cámara, ubicadas de tal manera que las imágenes se puedan concatenar y obtener una sola, con esto se disminuye la altura del dispositivo, y se duplica la resolución de las fotografías.

Estudio Comparativo de Métodos de Transmisión de Datos

Un método de transmisión de datos es la manera en que un dispositivo envía información a otro, teniendo en cuenta la mutua configuración y preparación para que la información se transfiera exitosamente en su totalidad.

La estandarización de métodos de transmisión de datos ha posibilitado la comunicación entre dispositivos de diferentes propósitos, ya que sin esta interactividad las maquinas estarían limitadas a sus especificaciones de fábrica. Gracias a estándares y protocolos, las velocidades de transmisión han aumentado pasando de los primitivos métodos, los cuales permitían pequeños envíos de bytes por segundo de tamaño, a los actuales, los cuales permiten cifras de Mega y Gigabytes por segundo.

Existen dos tipos de transmisión de datos, los cableados e inalámbricos, cada uno con características de seguridad, velocidad, rango y portabilidad diferentes, los métodos cableados son más seguros y veloces, que los inalámbricos, pero estos a su vez son más portátiles y con mayor rango de distancia.

La elección de un método de transmisión de datos es un factor muy importante e influyente, ya que define la velocidad, seguridad, y rango de distancia al momento de transferir las imágenes resultantes, por ende, se analizan los principales métodos de transmisión, para elegir el que mejor se adapte a las necesidades del proyecto (rapidez y eficiencia).

Tabla 17. Comparación Métodos de Transmisión de Datos

Transmisión	Bluetooth	Wifi	Ethernet	Zigbee	USB 3.0
	Inalámbrica	Inalámbrica	Cableada	Inalámbrica	Cableada
Ancho de Banda	24 Mbps	1Gbps	1Gbps	250 Kbps	4,8Gbps
Seguridad	Baja	Moderada	Moderada	Moderada	Alta
Rango	30 m	300 m	Limitado	75 m	5 m
Consumo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Protocolos	L2CAP RFCOMM	802.11ac wave1 802.11ac wave2 802.11n 802.11g	TCPIP UDP IP ARP DHCP	CSMA/CA WPAN	Token Data Status SOF
Espectro	2.4 GHz	2,4 o 5 GHz	-	2.4 GHz o 900 o 868 MHz	-

Otro índice relevante para la elección del método de transmisión es el soporte y comunidad de respaldo, ya que mayor sea, mejor información y corrección de errores se encuentran, este índice lo facilitan plataformas virtuales como Google trend y Alexa.

El nivel de búsqueda da una aproximación de la popularidad y la actividad mundial en los temas de interés, en este caso, los métodos de transmisión de datos.

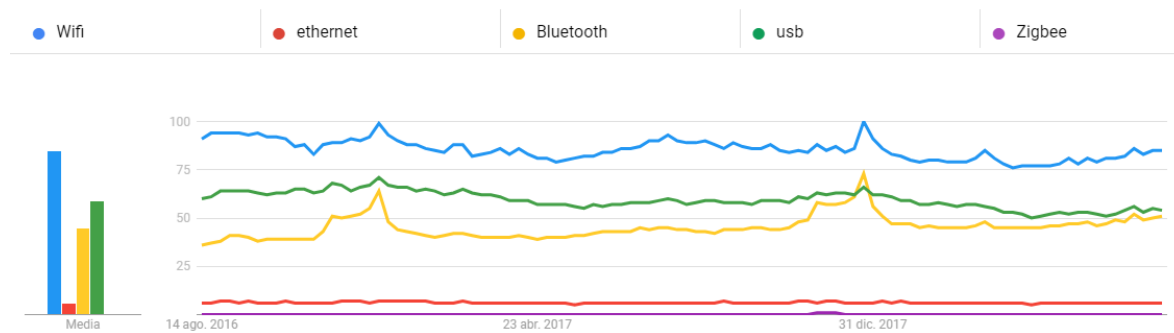


Figura 9, Comparación grafica del nivel de búsqueda de los métodos de transmisión, Fuente: <https://trends.google.es>

En la figura 9 se observa la actividad comparativa de los 5 métodos analizados en el periodo de agosto 2016 a agosto 2018, donde es evidente la mayor actividad de búsqueda de wifi, USB ha tenido un nivel de búsqueda aceptable, pero ha caído en los últimos meses, lo contrario a bluetooth, el cual está en alza, y por último Zigbee cuyo nivel de búsqueda es prácticamente nulo.

Teniendo en cuenta los parámetros comparados, se escoge la transmisión wifia ya es un método inalámbrico con un ancho de banda y rango alto, lo que garantiza la portabilidad del dispositivo en cuanto a este ítem, además de contar son una comunidad muy activa con gran cantidad de documentación en la red.

Anexo 3 (Diseño Circuitual del Sistema)

