	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 7

Código de la dependencia.


FECHA | jueves, 28 de febrero de 2019

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Fusagasugá

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
Cubillos Morales	Neil Camilo	1071550664

	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 7

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

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Roa Guerrero	Edgar Eduardo.
Huérfino Zapata	Benjamín Andres.
Cifuentes	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	72

DESCRITORES 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. Matlab	Matlab
5. Pie Cavo	Cavus foot
6. Pie Plano	Flatfoot

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 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El documento expone el estudio realizado para la identificación de requerimientos, documentación, metodología aplicada, diseño, implementación, pruebas y validación, todo enfocado a un sistema (podoscopio) que permite el análisis de huellas plantares mediante el método de Hernández Corvo basado en procesamiento digital de imágenes. La metodología se basó, en diseñar y estructurar el hardware y software, para construir una plataforma podoscopica, los algoritmos de procesamiento de imágenes están adaptados a la plataforma de desarrollo Matlab y su complemento de interfaces graficas GUIDE, cuidando cumplir los requisitos identificados para el desarrollo del sistema, seguidamente se identifican y corrigen errores tanto de hardware como software, fundamentados en una serie de pruebas a diferentes individuos para demostrar el correcto funcionamiento del dispositivo y la adecuación a las diferentes condiciones de medida, para un producto prototipo previo que da paso a una nueva investigación dedicada a la optimización y portabilidad del dispositivo realizado, para lo cual se realizan estudios y diseños más profundos para cumplir con la totalidad de los requisitos identificados.

El prototipo podoscopico se valida analizando los resultados de 15 individuos, quienes voluntariamente acceden al examen de huella plantar, con el método manual y con la plataforma podoscopica; los resultados obtenidos mediante los dos métodos se comparan, con lo cual se encontró una correlación del 59,3%; se concluyó que el prototipo presenta bajos índices de exactitud, pero da paso a la construcción de un prototipo podoscopico final, que adopta las virtudes y corregir los errores del primer prototipo.

The document presents the study carried out to identify requirements, documentation, applied methodology, design, implementation, testing and validation, all focused on a system (podoscope) that allows the analysis of footprints through Hernández Corvo's method based on digital processing. of pictures. The methodology was based on designing and structuring the hardware and software, to build a podoscopic platform, the image processing algorithms are adapted to the Matlab development platform and its GUIDE graphic interfaces complement, taking care to meet the requirements identified for the development of the system, then identify and correct both hardware and software errors, based on a series of tests to different individuals to demonstrate the correct operation of the device and the adaptation to the different conditions of measurement, for a previous prototype product that gives way to a new research dedicated to the optimization and portability of the device, for which deeper studies and designs are carried out to comply with all the identified requirements.

The podoscopic prototype is validated by analyzing the results of 15 individuals, who voluntarily access the footprint examination, with the manual method and with the podoscopic platform; the results obtained by the two methods are compared, with which a correlation of 59.3% was found; it was concluded that the prototype presents low accuracy indexes, but gives way to the construction of a final podoscopic prototype, which adopts the virtues and correct the errors of the first prototype.



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":

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)



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 7

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 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:

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



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 7

- 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.
- 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.

	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 7



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



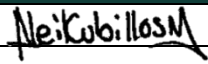
Nota:

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.

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.)
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)
Cubillos Morales Neil Camilo	

Código Serie Documental (Ver Tabla de Retención Documental).

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*

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

NEIL CAMILO CUBILLOS MORALES

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

Neil Camilo Cubillos Morales

Director:

MsC. EDGAR EDUARDO ROA GUERRERO
Magister en automatización y control industrial

Asesores:

MsC. PEDRO LUIS CIFUENTES
Magister en arquitectura de software
MsC. BENJAMIN ANDRES HUERFANO ZAPATA
Magister en ingeniería electrónica y de computadores

Línea de investigación:

Software, sistemas emergentes y nuevas tecnologías

Universidad de Cundinamarca
Ingeniería electrónica
Facultad de ingeniería
Fusagasugá, Colombia
2019

Para mis padres, por todas sus enseñanzas.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a mi familia por llenar mi vida de alegrías, innumerables consejos y por estar siempre conmigo.

Igualmente deseo agradecer a los ingenieros Edgar Roa, Benjamín Huérfano y Pedro Cifuentes, por acompañarme y guiarme en esta etapa tan importante de mi vida, por las lecciones impartidas y enseñarme a buscar la excelencia e innovación.

Deseo hacer una mención especial al Dr. Gabriel Montoya, quien desinteresadamente me brindó su tiempo y conocimientos en el área de la salud y el análisis de huellas plantares.

Agradezco a mis compañeros de semestre y amigos, Santiago, Yerson, William, Brayan y Cristian, con quienes compartí, momentos agradables, vergonzosos y hasta estresantes, pero lo más importante, quienes al pasar de los años me enseñaron que la vida y el trabajo, se hacen más agradables al estar unidos como grupo.

A Aura por su apoyo e inspiración en los momentos más difíciles, mi compañera quien a pesar de la distancia ha estado ahí para mí.

Por último, agradezco a aquellos docentes, que a lo largo de los años han impreso experiencias imborrables en mi mente.

Resumen

El análisis de huellas plantares es un estudio enfocado a la identificación de alteraciones y anomalías posturales de un individuo, que de no ser tratadas y corregidas a tiempo, puede desencadenar en problemas osteoarticulares irreversibles (Universidad Complutense, 2014), para este fin existen métodos como el de Hernández corvo, que a partir de áreas encontradas en la huella, clasifica las huellas plantares en grupos y con esto dar un diagnóstico del estado postural, posibles causas y consecuencias.

Para realizar la captura de las huellas plantares se desarrollaron equipos llamados podoscopios, que su principal propósito es resaltar la huella plantar de una persona, pero también existen plataformas que hacen el análisis y dan un diagnóstico y clasificación de la huella que es avalado por un experto; el presente proyecto se realiza como aporte investigativo y tecnológico del programa ingeniería electrónica, grupo de investigación GITEINCO, en colaboración de la Facultad de ciencias del deporte y la educación física, en el cual se realizan los estudios pertinentes para el diseño, e implementación de una plataforma podoscopica, beneficiándose de la convocatoria interna para el fortalecimiento de grupos de investigación de la Universidad de Cundinamarca.

El documento expone el estudio realizado para la identificación de requerimientos, documentación, metodología aplicada, diseño e implementación, pruebas y validación, todo enfocado a un sistema (podoscopio) que permite la medición y análisis de huellas plantares mediante el método de Hernández Corvo basado en procesamiento digital de imágenes. La metodología se basó, en diseñar y estructurar el hardware y software con el fin de construir la plataforma podoscopica, los algoritmos de procesamiento de imágenes están adaptados a la plataforma de desarrollo Matlab y su complemento de interfaces graficas GUIDE, cuidando cumplir los requisitos identificados para el desarrollo del sistema, seguidamente se identifican y corrigen errores tanto de hardware como software, fundamentados en una serie de pruebas a diferentes individuos para demostrar el correcto funcionamiento del dispositivo y la adecuación a las diferentes condiciones de medida, para un producto prototipo previo que da paso a una nueva investigación dedicada a la optimización y portabilidad del dispositivo realizado, para lo cual se realizan estudios y diseños más profundos para cumplir con la totalidad de los requisitos identificados.

El prototipo previo de la plataforma podoscopica se valida analizando los resultados de 15 individuos, quienes voluntariamente acceden al examen de huella plantar, con el método manual y con la plataforma podoscopica; los resultados obtenidos mediante los dos métodos se comparan, con lo cual se encontró una correlación del 59,3%; se concluyó que el prototipo presenta bajos índices de exactitud, pero da

paso a la construcción de un prototipo podoscopico final, que adopta las virtudes y corregir los errores del primer prototipo.

Contenido

Resumen	5
Introducción	13
1. Capítulo 1 Justificación.....	15
2. Capítulo 2: Marco teórico.....	16
2.1. Estado del arte	16
2.1.1. Estudios estadísticos y demográficos.....	16
2.1.2. Desarrollo tecnológico.....	20
2.1.3. Desarrollo Podoscopios.....	22
2.2. Fundamentos teóricos.....	27
2.2.1. Imágenes digitales.....	27
2.2.2. Segmentación.....	28
2.2.3. Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial....	30
3. Capítulo 3: Actividades de investigación	34
4. Capítulo 4. DISEÑO METODOLOGICO	36
4.1. Análisis de requerimientos	36
4.1.1. Captura y administración de imágenes.....	37
4.1.5. Rendimiento	37
4.1.6. Seguridad	37
4.1.7. Portabilidad.....	37
4.2. Diseño prototipo inicial	38
4.2.1. Cámaras.....	38
4.2.2. Iluminación.....	39
4.2.3. Software.....	40
4.2.4. Dimensiones	41
4.2.5. Algoritmos.....	45
4.3. Implementación de algoritmos.....	49
5. Capítulo 5. Análisis de resultados.....	54

5.1. Dimensiones	59
5.2. Iluminación	61
5.3. Disposición de elementos	61
6. Conclusiones	66
Bibliografía	68

Índice de figuras

Figura 1 Evaluación de huella plantar, método corvo Hernández,	17
Figura 2: Angulo y forma talón.	18
Figura 3: Método Jack.....	20
Figura 4: Segmentación de iris.	21
Figura 5: Funcionamiento básico podoscopio	22
Figura 6: Metodología básica de un podoscopio	23
Figura 7: Áreas dentro de la huella plantar, según Hernández corvo	23
Figura 8 Ecuación y clasificación de Hernández corvo	24
Figura 9: Proceso habitual para el análisis de la huella plantar.	24
Figura 10: Procesamiento de la huella plantar con raspberry pi3.	25
Figura 11: Resultados obtenidos.....	25
Figura 12 Podoscopio implementado.....	26
Figura 13 Resultados obtenidos	26
Figura 14 Análisis biomecánico de los miembros inferiores.	27
Figura 15: reconocimiento de píxel.	28
Figura 16 Segmentación células, a) imagen original, b) imagen segmentada	28
Figura 17: Detección de bordes, a) imagen original, b) imagen segmentada	29
Figura 18 Sistema de iluminación, luz frontal.....	30
Figura 19 Sistema de iluminación, lateral	31
Figura 20 Sistema de iluminación, campo oscuro	31
Figura 21 Sistema de iluminación, por contraste.....	32
Figura 22 Sistema de iluminación, axial difusa	32
Figura 23 Sistema de iluminación, domo.....	33
Figura 24 Metodología implementada	36
Figura 25 Posicionamiento de vidrios	39
Figura 26 Ubicación tira led.....	40
Figura 27 Dimensiones preprototipo	41
Figura 28 Plataforma con caras exteriores.	42
Figura 29 diseño preprototipo con vidrio y manijas	42
Figura 30 Preprototipo final, a) captura superior, b) captura frontal	43
Figura 31 Plataforma Podoscopica.....	43
Figura 32 primera fotografía con plataforma podometrica.....	44
Figura 33, Rediseño de sistema de iluminación, añadiendo lamina difuminadora.....	44
Figura 34 imagen captada al adicionar lamina difuminadora.....	45

Figura 35 Diagrama de flujo, algoritmos	45
Figura 36 Huellas de prueba, a) método manual, b) Podoscopio	46
Figura 37 Imagen segmentada con ruido	47
Figura 38 Interfaz grafica	47
Figura 39 secuencia de procesado de la huella	48
Figura 40 huella segmentada	49
Figura 41 trazado de línea 1 a 1'.....	50
Figura 42 Trazado línea superior	50
Figura 43 resultados finales de índice de Hernández corvo	51
Figura 44 Huellas plantares procesadas desde guide	51
Figura 45 individuo 0 en plataforma	52
Figura 46 plástico oscuro que bloquea luz del ambiente	52
Figura 47 resultados obtenidos al corregir fallo de luz incidente.....	53
Figura 48 A) Experto realizando examen a un individuo, B) Huella final con trazos respectivos del método.....	54
Figura 49 Huellas plantares método manual, individuo 1.....	56
Figura 50 Huellas plantares tomadas con podoscopio, individuo 1	56
Figura 51 Comparativo método manual, sistema podoscopico.....	57
Figura 52 Correlación entre método manual y sistema podoscopico, total huella	57
Figura 53 Diseño software, prototipo final.....	58
Figura 54 Diseño hardware, prototipo final.....	59
Figura 55 Dimensiones plataforma	59
Figura 56 Plataforma con base de MDF.....	60
Figura 57 Plataforma con paredes externas	60
Figura 58 Plataforma con vidrios	61
Figura 59 Disposición elementos internos	62
Figura 60 Disposición elementos dentro de caja	63
Figura 61 Disposición de elementos externos plataforma A) derecha, B) izquierda, C) atrás, D) adelante, E) superior sin protección, F) superior con protección.	64

Índice de tablas

Tabla 1 Índices en exámenes de validación.....	55
--	----

Índice de cuadros

Cuadro 1 Clasificación del pie	17
Cuadro 2 Actividades asignadas	34
Cuadro 3 Comparación cámaras	38
Cuadro 4 Comparación de tipo de luces	39
Cuadro 5 Clasificación pies, según índice	55

Introducción

El análisis y diagnóstico de la huella plantar es un proceso de gran importancia en la prevención y corrección de problemas en la postura de las personas; actualmente existen diferentes métodos de obtención y clasificación del pie, desde métodos empíricos y básicos como la inspección visual, hasta métodos de mayor exactitud como el método de Hernández Corvo (Corvo, 1989). Cada uno de estos procedimientos busca la clasificación de la huella plantar en tres grupos principales, pie cavo, normal y plano, con estos resultados se procede al diagnóstico y posterior tratamiento según la clasificación obtenida, como terapias, cambio de rutinas, uso de plantillas especiales, entre otros.

El análisis de la huella plantar está orientado a cualquier persona con un tren inferior completo, con el fin identificar posibles alteraciones en su postura, sin embargo, en la literatura se evidencia que dichos estudios se enfocan a comunidades específicas que padecen con mayor frecuencia problemas posturales o de mayor importancia como es el caso de niños (Jose Antonio Pinto, 2011), personas con diabetes y deportistas (Ramírez, 2007); en estos últimos es muy importante realizar un seguimiento gradual del avance y tendencia de la huella, por el aumento de alteraciones en el pie que presentan estos debido a su actividad diaria.

En la actualidad el índice de Hernández Corvo ha demostrado ser uno de los métodos con mayor precisión en el análisis de huellas plantares, por lo cual es de los más utilizados (D. Berdejo-del-fresno, 2013), influyendo en el desarrollo de diferentes procedimientos y dispositivos para tal fin. Estos en el contexto de pequeñas comunidades o entidades suelen ser rústicos, manuales y lentos para la entrega de resultados y diagnósticos; aunque la base fundamental de este tipo de métodos es la impresión de la huella plantar sobre una superficie, donde posteriormente se realizan los trazos correspondientes para identificar las áreas en el pie y así determinar su índice y clasificación, también existen métodos tecnológicamente más desarrollados, que siguen el mismo fundamento mediante el uso de plataformas llamadas podoscopios que resaltan la huella plantar sobre una superficie de vidrio, para ser analizadas por el médico o captada con una cámara o escáner para ser procesada mediante software (L. Navaporn, 2014).

El principal objetivo de esta investigación es el desarrollo de una herramienta computacional que permita hallar el índice de corvo de cualquier persona en

estudio, a través de un sistema de visión artificial basado en técnicas de procesamiento de imágenes.

1. Capítulo 1 Justificación

Las huellas plantares son un factor muy diciente del estado de la postura de una persona, ya que, dependiendo de las áreas encontradas en ella, dan a conocer preventiva y correctivamente problemas osteoarticulares, motrices, bajo rendimiento en actividades físicas, también problemas de tipo externo como el tipo de calzado y superficies de contacto, entre otros problemas de interés general (Pérez, 2010).

En la Universidad de Cundinamarca, facultad de ciencias del deporte y educación física se realizan exámenes podometricos de manera manual basados en el índice de Hernández corvo para la detección de alteraciones y problemas internos o externos en cualquier persona, lo cual no optimiza tiempos ni recursos, tampoco asegura el éxito del examen, ya que el método está ligado a los errores que pueda ocasionar el personal a cargo de la captura de las huellas o de análisis de la misma, la subjetividad del método, radica en

En búsqueda de un beneficio para la comunidad universitaria y todas aquellas en las que la universidad de Cundinamarca tiene incidencias sociales, es necesaria una solución automatizada que contribuya al fortalecimiento de las técnicas tradicionales de reconocimiento de alteraciones podales, optimizando recursos y tiempo en los exámenes, además de contribuir con los avances investigativos de la universidad de Cundinamarca.

2. Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Estado del arte

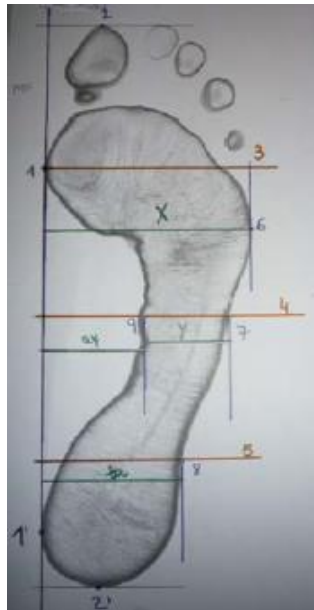
2.1.1. Estudios estadísticos y demográficos

Múltiples estudios realizados a diferentes poblaciones mundiales acerca de las patologías podales han dejado evidenciar avances importantes en la técnica con resultados satisfactorios y novedosos, tal es el caso del estudio realizado por investigadores australianos en (Berdejo-del-Fresno, 2011), el cual consistió en una revisión y comprobación exhaustiva de técnicas para la corrección de pie plano o cavo en personas del común, las personas fueron seleccionadas aleatoriamente, posteriormente se sometieron a radiografías y el análisis de Hernández corvo, se evidenció que es posible detectar de manera fiable anomalías como lo es el pie plano. Gracias a la información que se corrobora con el uso de las dos técnicas, fue obtenido un índice de error bajo, pero concluyendo que falta investigación para obtener información con métodos radiológicos. Finalmente, se destaca la importancia y ayuda de las tomas radiológicas en el análisis podal ya que, a pesar de ser poco estudiado, los resultados de las imágenes radiográficas amplían el análisis de anomalías tales como las plantagias.

El estudio y análisis de la huella plantar realizado a una comunidad en (D. Berdejo-del-fresno, 2013) con actividades o condiciones muy similares, arroja información especializada o adicional que permiten la toma de decisiones respecto a dicha actividad, tal es el caso del estudio podoscopico realizado en mujeres con tres rutinas diferente (sedentaria, jugadora de hockey y jugadora de futbol), las cuales son analizadas basadas en el método de Hernández corvo y el ángulo del talón con el fin de observar agravantes posturales con la práctica de estos deportes.

El método de Hernández corvo se desarrolla posterior a la captura de la huella plantar, en esta huella se realizan trazos estratégicos como los que se observan en la *figura 1*, que permiten el cálculo de dicho índice.

Figura 1 Evaluación de huella plantar, método corvo Hernández,



Fuente: (Berdejo-del-Fresno, 2011)

De la *figura 1* se toma una distancia 'x' y una distancia 'y', las cuales están implicadas en la siguiente ecuación.

$$\%X = \frac{X-Y}{X} * 100 \quad (1)$$

Según el porcentaje finalmente obtenido, se analiza y clasifica según el tipo de pie de la persona donde de 0-34% se conoce como 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.

Cuadro 1 Clasificación del pie

Porcentaje	Clasificación
0-34%	Plano
35-39%	Plano/Normal
40-54%	Normal
55-59%	Normal/Cavo
60-74%	Cavo
75-84%	Cavo/Fuerte
85-100%	Cavo/Extremo

Fuente: (Silvia Lara Diéguez, 2011)

El ángulo que forma el talón con el resto de la pierna es una técnica que posibilita de igual manera la clasificación de anomalías posturales.

Figura 2: Angulo y forma talón.



Fuente: (Diéguez, 2011)

En la toma de este factor se resalta que un pie normal con postura normal no debe sobrepasar los 7 grados de inclinación, basados en el eje lateral del cuerpo como se evidencia en la *figura 2*.

Después de procesados y tabulados los datos obtenidos, se concluye que las mujeres con mayor tendencia a problemas podales son las practicantes de futbol, pero no son datos alarmantes ni significantes, ya que son debido a diferentes técnicas empleadas que no repercuten problemas serios, otro punto a analizar es la efectividad del método Hernández corvo, puesto que brinda información diciente

Corroborando lo anteriormente expuesto, investigadores españoles en (Diéguez, 2011) realizan una comparación de múltiples métodos para análisis podal, encontrando que el método con mayor índice de eficiencia igualmente es el de Hernández corvo, por encima de los demás métodos poco documentados y no muy recomendados.

Otros grupos en los que el análisis podal es una necesidad son los niños, personas obesas y diabéticas, ya que son más vulnerables a presentar este tipo de

problemas, lo cual causa aparte de problemas sociales, también dificultades de postura, distribución de peso, desgaste en las rodillas, entre otras.

Se han realizado infinidad de estudios en estos grupos de personas, teniendo como punto en común, agravantes tales como sobrepeso, desbalances alimenticios, uso incorrecto del calzado, entre otras.

En el caso de las personas con sobrepeso, un estudio realizado en México en (Héctor Iván Saldívar-Cerón, *Obesidad infantil: factor de riesgo para desarrollar pie*, 2015) deja un impactante porcentaje de casi un 13% de personas con pie plano, cifra muy significativa considerando que los evaluados fueron en su totalidad personas con un índice de masa alto.

Otro punto a esclarecer son los problemas plantares y su relación con el tipo de calzado, ya que el pie se puede deformar por el uso indebido del calzado. El zapato tipo tacón es cuestionado no solo por generar pie plano si no también infinidad de problemas corporales, por lo cual este ha inspirado el estudio de investigadores brasileños en (Lígia L. Cisneros, 2010), (Patrícia A. O. Pezzan, 2009), pero ante el asombro de mucho, concluye en que los zapatos con plataforma o tacón no influyen ni afectan el pie, respecto a un posible pie plano.

Los niños son muy susceptibles a padecer de anomalías plantares ya que están en constante desarrollo, por tal razón es importante detectar y prevenir la aparición de pie plano, para esta tarea en Brasil en (José Antonio Pinto, 2011) se idearon la manera de tener resultados más verídicos, con el gasto de dinero mínimo, esto finalmente lo lograron implementando la técnica de Jack, la cual como se observa en la *figura 3*, consiste en colocar una plataforma (ortesis) en el dedo pulgar del pie, y realizar una impresión de esta, después quitar la plataforma y observar los cambios en la huella, con esto se logra observar de manera más acertada y con mayor resolución los problemas podales, logando normalizar los resultados al usar la ortesis, los resultados fueron analizados implementado los métodos de volpon y valentini.

Figura 3: Método Jack



Fuente: (ORTIZ, 2008)

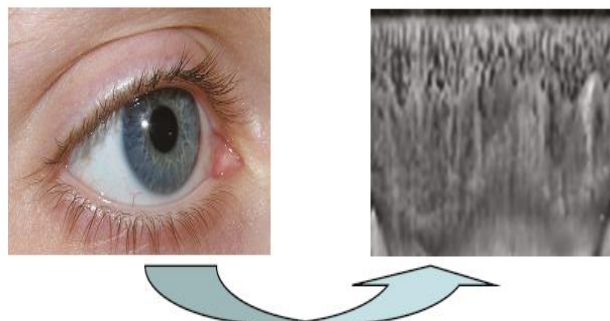
A nivel nacional el estudio y aplicación de la huella plantar ha sido de gran ayuda en el área deportiva, tal es el caso de la investigación realizada en la unilibre de Cali en (Lessby Gómez Salazar, 2010) donde implementan un análisis podal de 250 deportistas colombianos implementando el método de Hernández corvo en los XVIII juegos nacionales, procesando la información digitalmente, encontrando que los deportistas con más frecuencia en pie plano y cavo son los atletas y nadadores, con relación más directa en nadadores.

2.1.2. Desarrollo tecnológico

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 (Geert, y otros, 2017) donde lograron concluir que el uso de redes neuronales convoluciones, 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 logro 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 (Ryan N., Hau, Randy P., & Robert W., 2010). Como se muestra en la *figura 4* se logró extraer parte de la corteza del iris para ser procesada posteriormente con la FPGA.

Figura 4: Segmentación de iris.



Fuente: (Ryan N., Hau, Randy P., & Robert W., 2010)

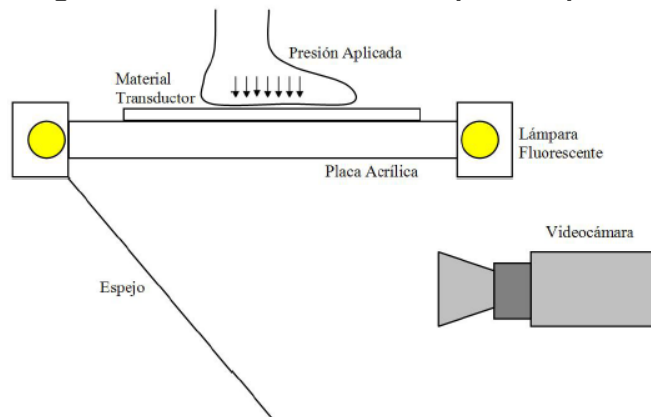
Desde otro punto de vista pero tomando como referencia el argumento expuesto anteriormente, el uso y aprovechamiento de la GPU de los diferentes dispositivos ha permitido la obtención de velocidades mayores de procesamiento de imágenes o video de alta resolución en tiempo real (Jiawen, Sylvain, & Durand, 2007); siendo esta una tecnología aun 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 (Liubov A., Vicent, Patricia, Francisco, & Gumersindo, 2014).

2.1.3. Desarrollo 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, & Ramirez, 2006)

El principio básico de funcionamiento de un Podoscopio está basado en el uso de una superficie traslúcida (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 5*; 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, 2011).

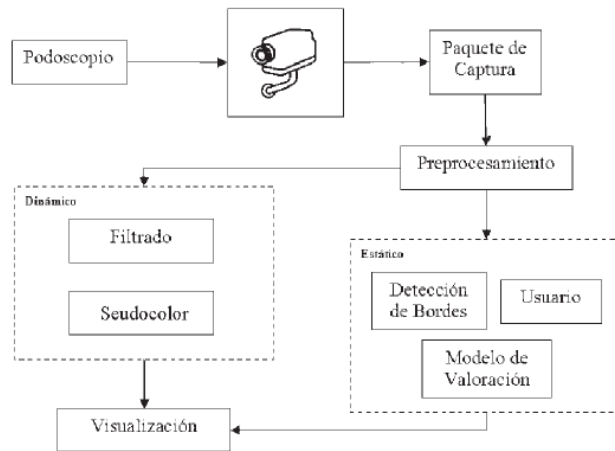
Figura 5: Funcionamiento básico podoscopio



Fuente: (Yeras, 2011)

Desde el punto del procesamiento de la imagen como se muestra en la *figura 6*, 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 variara 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 (Qiang & Chuanjiang, 2013), (F. J., D., V., & J., 2016) . Con estas técnicas se busca una mejora en la imagen captada, para posteriormente mediante el análisis y el procesamiento obtener mejores resultados.

Figura 6: Metodología básica de un podoscopio



Fuente: (Yeras, 2011).

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 7* y *8*, donde se muestra los diferentes trazos que se deben realizar para posteriormente la clasificación del tipo de pie con la ecuación propuesta en la *figura 8*.

Figura 7: Áreas dentro de la huella plantar, según Hernández corvo



Fuente: (Yeras, 2011)

Figura 8 Ecuación y clasificación de Hernández corvo

$$IC = \frac{X - Y}{X}$$

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

Fuente: (Yeras, 2011)

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 (Rodolfo, y otros, 2017) decidieron crear un podoscopio de bajo costo logrando obtener buenos resultados. En su artículo se plantea el principal problema a la hora de analizar la huella plantar ya 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 9: Proceso habitual para el análisis de la huella plantar. *Figura 9.*

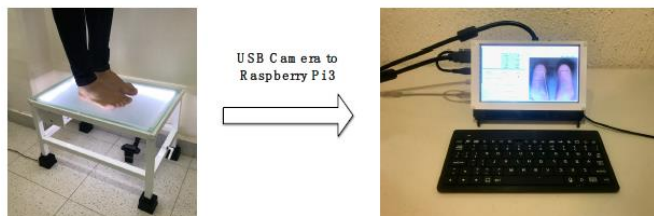
Figura 9: Proceso habitual para el análisis de la huella plantar.



Fuente: (Rodolfo, y otros, 2017)

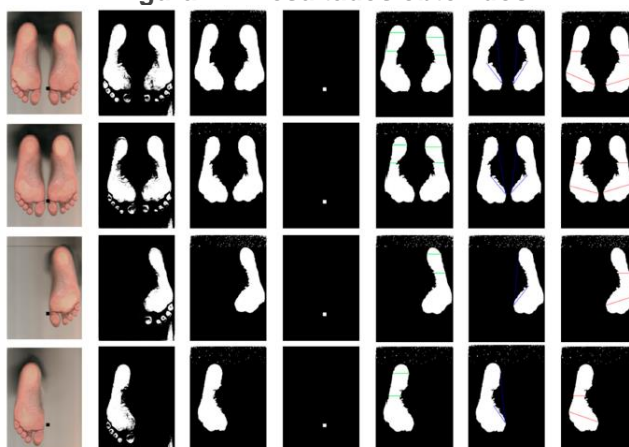
La solución desarrollada por este grupo de investigadores radica en la construcción de una plataforma que permita la captación de la huella plantar y con la ayuda de una raspberry pi3 obtener un procesamiento de esta, la metodología utilizada se muestra en la *figura 10*.

Figura 10: Procesamiento de la huella plantar con raspberry pi3.



Fuente: (Rodolfo, y otros, 2017)

Figura 11: Resultados obtenidos



Fuente: (Rodolfo, y otros, 2017)

En la *figura 11* 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.

Otro claro ejemplo de la necesidad de construcción de un podoscopio de bajo costo fue expuesto por un grupo de investigadores en Ecuador (F., A., E., & D. S., 2016) logrando obtener una captura de la huella plantar totalmente diferentes a las anteriores, logrando así mejores resultados debido a un procesamiento sencillo de la imagen mediante el desarrollo de una aplicación orientada a escritorio capaz de determinar las dimensiones X y Y de cada pie, porcentaje de corvo en cada

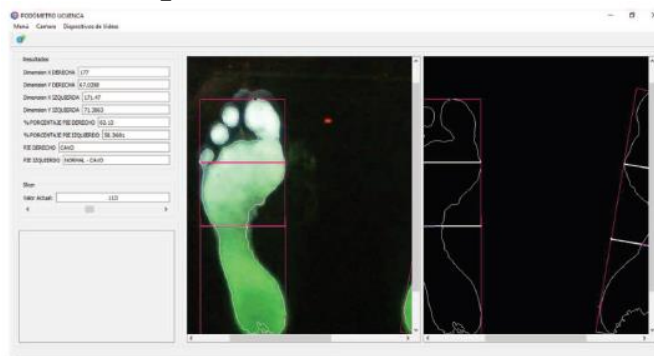
extremidad y de igual forma su clasificación como se muestra en las *figuras 12 y 13*, luego de observar los resultados obtenidos se evidencio que no necesariamente se obtiene el mismo tipo de pie en cada extremidad.

Figura 12 Podoscopio implementado



Fuente: (Ruben, Ana L., & Villie, 2017)

Figura 13 Resultados obtenidos



Fuente: (Ruben, Ana L., & Villie, 2017)

Abordando un punto de vista más amplio un grupo de autores de la Universidad José do Rosário Vellano de Brasil (Francis Trombini, Ana Paula, Denise Hollanda, & Vanessa Vilela, 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 diagnostico como se muestra en la *figura 14*.

Figura 14 Análisis biomecánico de los miembros inferiores.



Fuente: (Francis Trombini, Ana Paula, Denise Hollanda, & Vanessa Vilela, 2009)

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Imágenes digitales

Una imagen digital es un archivo electrónico en forma de matriz compuesta por píxeles, los cuales indexan punto a punto datos relevantes de tonalidad, matiz, saturación o color de la imagen digitalizada; al ser una matriz, las imágenes digitales pueden ser representadas con diferentes números de píxeles, lo cual es proporcional con el tamaño en bytes del archivo que la aloja, pero no siempre con su calidad (Rodríguez, 2003), los equipos de captura de imágenes digitales más comunes, son las cámaras y los escáneres, aunque estos equipos han evolucionado hasta altos estándares de resolución y calidad de imágenes, aun la tecnología no puede obtener los resultados que ofrecen las imágenes analógicas de las cámaras 'tradicionales', por lo cual las capturas tienen un mínimo índice de error (Aragón Ferrero & Luján Mora, 2008).

Figura 15: reconocimiento de píxel.

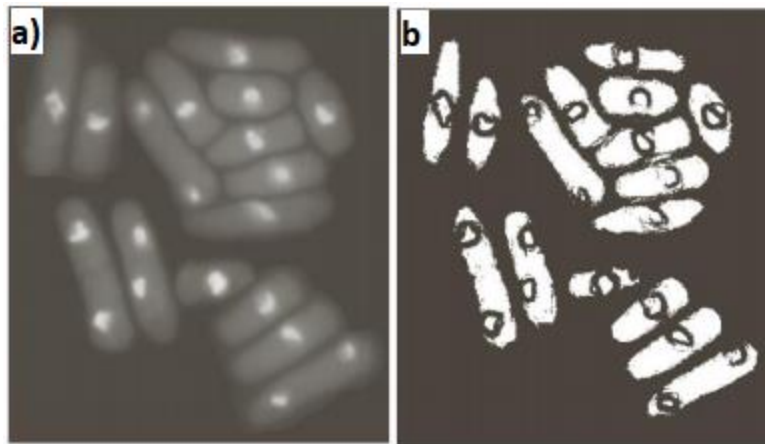


Fuente: Autores.

2.2.2. Segmentación.

La segmentación en imágenes es la técnica por la cual se discriminan los diferentes objetos existentes en una fotografía o imagen, la segmentación ideal, es el escenario en el cual se logra discriminar el objeto deseado del resto de la imagen, sin ningún ruido, o interferencia. (alojamientos, s.f.), *figura 16*.

Figura 16 Segmentación células, a) imagen original, b) imagen segmentada

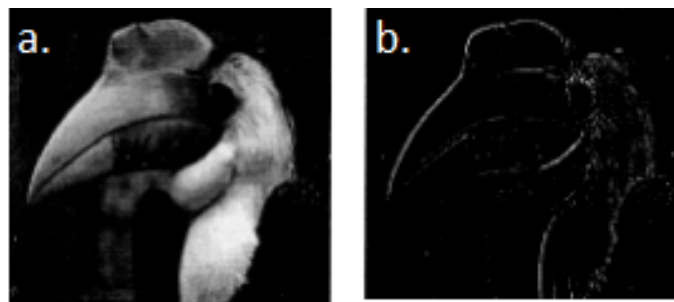


Fuente: (alojamientos, s.f.)

- **Segmentación método humbralización:** La humbralización es el método más sencillo y primitivo para segmentar una imagen, la técnica consiste en pasar la imagen a escala de grises, donde se analiza la intensidad píxel por píxel, para finalmente identificar los rangos en que se encuentra el objeto a segmentar y distinguirlo del resto de la imagen. (Uva, s.f.)

- **Segmentación método Otsu:** El método de Otsu o también conocido como umbralización Otsu, es un método estadístico, cuya finalidad es encontrar el umbral deseado de una imagen en escala de grises, esto se logra múltiples clases con las tonalidades encontradas dentro de la imagen, y agrupándolas de tal manera que las clases finales se identifiquen por una dispersión interna pequeña y una dispersión entre clases lo mayor posible, por tal motivo, este método genera alto grado de confiabilidad en los resultados finales, ya que se define como la automatización del método clásico de umbralización. (Universidad de Sevilla, s.f.).
- **Segmentación método de los dos picos:** Este método es una adaptación al método de umbralización clásico y se soporta en un histograma, donde se deben encontrar los dos picos más altos, y seleccionar el pico menor o el que se encuentre más a la izquierda del histograma. Ya que en la práctica se han obtenido mejores resultados con este pico, sin importar la cantidad de píxeles en relación al otro pico encontrado (Universidad de Sevilla, s.f.).
- **Segmentación método detección de bordes:** La detección de bordes es aplicada a imágenes en escala de grises, para lograr esta segmentación, es importante que los algoritmos diseñados detecten, analicen y enfatizen los cambios abruptos en el nivel de grises. Con esto lograr bordear los objetos. (Nora La Serna Palomino)

Figura 17: Detección de bordes, a) imagen original, b) imagen segmentada



Fuente: (Nora La Serna Palomino)

- **Segmentación método orientado a regiones:** Este método se aventaja de los métodos de umbralización y detección de bordes, ya que este puede ser implementado en cualquier tipo de imagen, además que puede segmentar y discriminar más de un objeto en una imagen, sin importar el espectro del color en el que se encuentre; el método consiste en agrupar las cualidades distinguibles en una imagen, como lo puede ser la tonalidad, proximidad de píxeles, saturación, entre otras cualidades que se pueden hallar en regiones de una imagen, y relacionarlas, hallando similitudes entre algunos píxeles, lo cual permite separar por regiones la imagen, discriminándola por objetos. (Nora La Serna Palomino).

2.2.3. Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial

Un factor decisivo para la obtención de imágenes de calidad y segmentables en aplicaciones de visión artificial, es el tipo y sistema de iluminación, ya que, dependiendo de la aplicación, es recomendable un sistema de iluminación en específico.

- **Luz frontal:** Al colocar la fuente lumínica en la misma dirección de la cámara, el objeto en estudio refleja el máximo de luminosidad, Esto reduce las sombras, suaviza las texturas y minimiza la influencia de rayas, polvo e imperfecciones que pueda tener el objeto, comúnmente se utiliza un anillo de luz, para no interferir con el foco de la cámara, este sistema de iluminación es propicio para segmentar objetos que reflejan poca luz, como lo son las telas, papeles, entre otras (bcnvision, 2017).

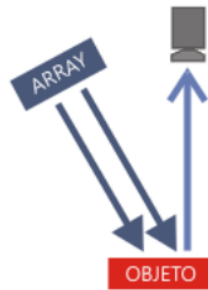
Figura 18 Sistema de iluminación, luz frontal



Fuente: (bcnvision, 2017)

- **Luz lateral:** La luz lateral es útil para aplicaciones donde se requiere realzar relieves, el grado de inclinación de la luz, lo define el diseñado, dependiendo de la magnitud del realce que se necesite implementar, este sistema de iluminación es propicio para aplicaciones tales como discriminación de bordes, y detección de fisuras sobre una superficie (bcnvision, 2017).

Figura 19 Sistema de iluminación, lateral



Fuente: (bcnvision, 2017)

- **Iluminación por campo oscuro (Darkfield):** La emisión de luz en este sistema se direcciona sobre el objeto a evaluar en un anillo que apunta a todas las direcciones, el cual se ubica alrededor del objeto, este método resalta los contrastes de una imagen en un escenario de poco contraste, este sistema es útil en aplicaciones como resaltado de incrustaciones, identificación de códigos alfanuméricos, identificación de grabado laser, entre otras aplicaciones. (bcnvision, 2017).

Figura 20 Sistema de iluminación, campo oscuro



Fuente: (bcnvision, 2017)

- **Iluminación por contraste (Backlight):** En este sistema de iluminación, el objeto en estudio se sitúa en medio de la fuente de luz y la cámara, las cuales se apuntan entre ellas, esto con el fin crear sombras que permitan segmentar los contornos o siluetas de los objetos, este sistema es muy útil para hallar el área y morfología de cualquier objeto.

Figura 21 Sistema de iluminación, por contraste



Fuente: (bcnvision, 2017)

- **Iluminación Axial difusa:** La iluminación axial difusa se logra al implementar un espejo que refleje la luz 90 grados, este sistema es muy útil en aplicaciones donde el objeto en estudio refleja gran cantidad de luz e interfiere en las imágenes captadas.

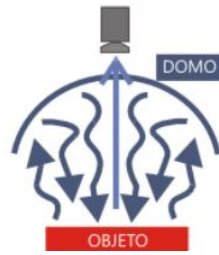
Figura 22 Sistema de iluminación, axial difusa



Fuente: (bcnvision, 2017)

- **Iluminación Axial tipo domo:** Las ventajas de implementar un domo para concentrar la luz difusa se fundamentan en la eliminación de sombras, corrección de fallos presentes en el medio, tales como rayones, ruido y demás imperfecciones que afectan el escenario de captura, este sistema axial, es implementado en procesos donde se requiera verificar la calidad o pureza de un objeto, tales como instrumentos médicos, espejos, discos compactos, entre otros.

Figura 23 Sistema de iluminación, domo



Fuente: (bcnvision, 2017)

3. Capítulo 3: Actividades de investigación

Las actividades que se desarrollan en el libro hacen parte del proyecto de investigación titulado “Desarrollo de un sistema para la identificación de alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar” aprobado en el marco de convocatoria interna (2017) universidad de Cundinamarca, y dirigido por el MsC Edgar Eduardo Roa Guerrero.

En cumplimiento al compromiso adquirido al ingresar al grupo de investigación, se desarrollaron las actividades que se describen en el cuadro 2, lo cual se evidencia en el desarrollo del libro y los anexos adjuntos.

Cuadro 2 Actividades asignadas

No.	Actividad	Entregables/productos	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.	Fichas bibliográficas y análisis del estado del arte y la técnica. (Anexo 1)	Revisión del estado del arte
2	Establecer las características de tamaño, peso y materiales para el desarrollo del sistema requerido por el usuario.	IEEE 830 (Anexo 2)	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.	Imágenes diseño 3D. (Anexo 3)	Diseñar el sistema mecánico para la adquisición de las imágenes de la huella plantar
5	Establecer una técnica para la captura y pre procesado de las imágenes de la huella plantar.	Estudios comparativos. (Anexo 4)	

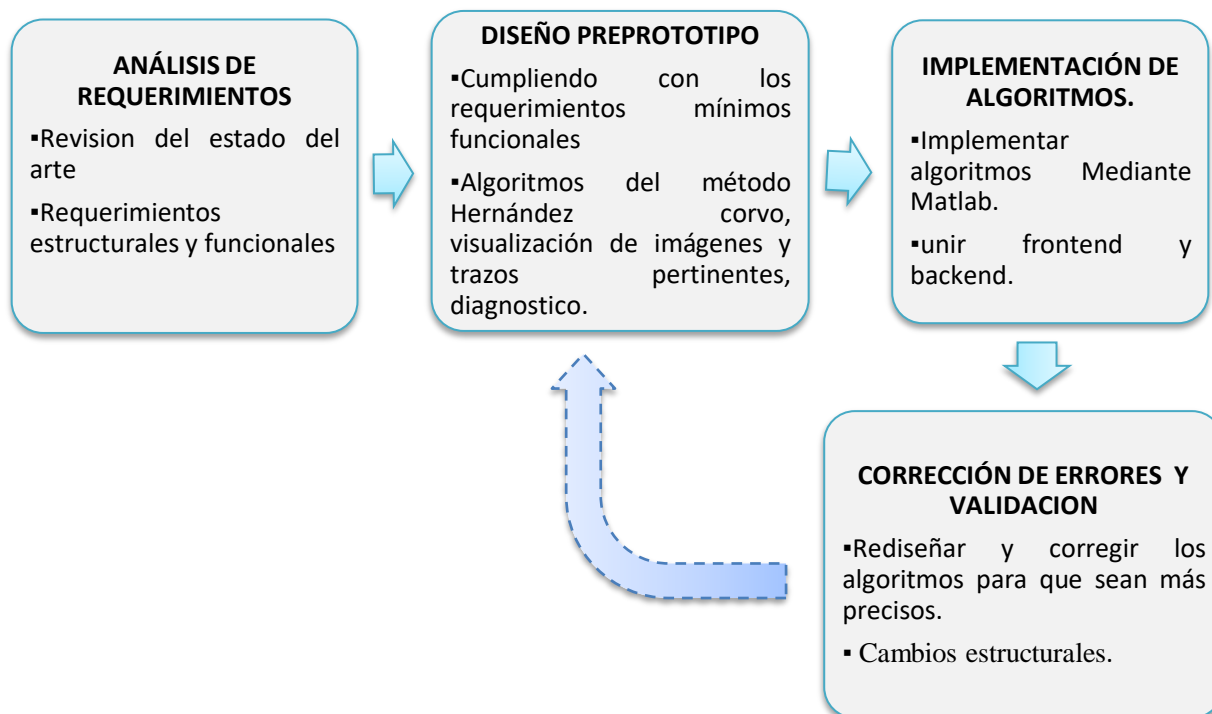
6	Desarrollar un algoritmo para la segmentación de la huella plantar.	Algoritmos para la segmentación, identificación y clasificación de los pies y alteraciones a partir de la huella plantar. (Anexo 6)	Desarrollar un algoritmo para identificar las alteraciones en la postura mediante el análisis de la huella plantar.
7	Desarrollar el algoritmo para caracterización y clasificación de los pies y alteraciones a partir de la huella plantar.		
8	Integrar cada uno de los módulos que componen el sistema.	Fotos Plataforma (Anexo 7)	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.	Imágenes de huellas en plataforma y método tradicional (Anexo 8)	Probar el sistema con los diferentes actores y comparar con los métodos tradicionales utilizados en la Universidad de Cundinamarca.
13	Realización de los informes finales del proyecto.	Informe final del auxiliar de investigación	Documentación de los resultados
14	Redacción de artículos científicos para sometimiento en revistas.	Artículo científico. (Anexo 9)	
15	Ponencia de los resultados preliminares en un evento científico	Folleto (Anexo 10)	Entrega y socialización de resultados

Fuente: Carta de inicio de actividades, anexo 11

4. Capítulo 4. DISEÑO METODOLOGICO

La metodología llevada a cabo se basó en una sucesión de etapas en cascada como se muestra en la *figura 24*, iniciando con la identificación y análisis de los requisitos del sistema para diseñar un preprototipo, seguido de la implementación de algoritmos, y finalmente corrección de errores y validación del preprototipo, se aclara que con los errores identificados se rediseña lo que se considere genera el error.

Figura 24 Metodología implementada



Fuente: autores.

4.1. Análisis de requerimientos

Los requerimientos y requisitos mínimos para el preprototipo fueron definidos después de la documentación en artículos, libros y tesis, charla con expertos, los cuales fueron plasmados en el documento IEEE 830 anexo 2, los puntos más relevantes se evidencian a continuación.

4.1.1. Captura y administración de imágenes

El sistema debe permitir que el usuario (profesional a cargo y/o personal a cargo) capture la imagen de la huella plantar del paciente, la valide y decida analizarla o eliminarla, además debe permitir cargar una imagen que haya sido tomada previamente.

4.1.2. Identificación de la huella de cada pie y cálculo de puntos y líneas relevantes basados en el índice de corvo Hernández:

Una vez capturada la imagen de las huellas plantares se realizará un procesamiento de imagen, en el cual contará con diferentes etapas entre estas la de segmentación que permitirá obtener cada huella plantar por separado y la eliminación del ruido y los datos no relevantes.

4.1.3. Cálculo y visualización de índice de corvo:

Con los fotogramas anteriormente generados se procede al cálculo y determinación del tipo de pie mediante el método de Hernández Corvo, para posteriormente imprimirlos en la interfaz gráfica de guide.

4.1.4. Clasificación del pie:

Con la ayuda del método de Hernández Corvo y su tabla de clasificación se procede a clasificar cada huella plantar del paciente tomando como referencia el resultado de índice encontrado anteriormente.

4.1.5. Rendimiento

Se debe garantizar la exactitud, precisión y velocidad del cálculo del índice de Hernández corvo; los algoritmos deben adaptarse a los diferentes entornos y no variar sus resultados

4.1.6. Seguridad

La plataforma debe ser estable y diseñada para soportar pesos altos, así generar confianza para el usuario.

4.1.7. Portabilidad

El sistema debe ser de fácil integración entre hardware y software, de bajo peso, y estructuralmente manejable.

Los anteriores son los requerimientos mínimos para asegurar la funcionalidad del dispositivo, adicionalmente se debe realizar un seguimiento de los exámenes y pacientes, implementando registro, seguimiento personalizado y enfatizar más la portabilidad para facilitar el transporte de la plataforma, estas actividades son realizadas por el auxiliar de investigación, Cristian Andrés García.

4.2. Diseño prototipo inicial

Se diseña un prototipo inicial que cumple con los requerimientos mínimos del sistema identificados en la revisión del estado del arte y formato IEEE 830, los cuales enfatizan la funcionalidad y portabilidad del dispositivo, con la finalidad de desarrollar métodos y algoritmos para evaluar el índice de Hernández corvo y optimizar los procesos, analizando aspectos relevantes en el procesamiento digital de imágenes, como lo son las cámaras, la iluminación de la plataforma podometrica, entre otras.

4.2.1. Cámaras

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 se caracterice por capturar imágenes con buena relación peso en bytes, calidad.
- Longitud foca mínima, para reducir la altura del dispositivo
- Enfoque de preferencia manual o automático, adaptable por códigos,
- Conectividad USB
- Físicamente reducida

Se compararon 4 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.

Cuadro 3 Comparación cámaras

Cámara	resolución	Longitud focal	Comunicación	Relación focal	Valor comercial
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

Fuente: (AliExpress, s.f.)

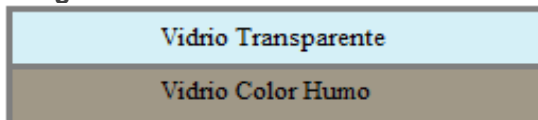
De las cámaras preseleccionadas en el cuadro 3, se opta implementar la Aptina MI5100 no distorsión ya que su longitud focal es mínima, con 5Mp es considerablemente de buena resolución y a un precio razonable.

4.2.2. Iluminación

La iluminación de la plataforma es un factor clave para obtener imágenes segmentables de buena calidad, esto depende de la superficie reflectora y el tipo de intensidad de la fuente lumínica.

Se opta implementar dos vidrios templados de 5mm de espesor, uno transparente y otro color humo, como se observa en la *figura 25*.

Figura 25 Posicionamiento de vidrios



Fuente: autores.

Los vidrios templados aumentan su resistencia cerca de 4 o 5 veces en consideración con un vidrio normal. (Vitralba, s.f.), por tal razón se elige un espesor total de 1 cm, lo cual está diseñado para resistir un máximo de 180 Kg. El vidrio color humo oscurece la imagen, realizando un filtro de luz externa que en dado caso puede molestar las imágenes captadas.

Se elije el tipo de iluminación de campo oscuro, como el implementado en la *figura 20*, ya que permite crear el efecto visual resaltante de superficies; en la tabla 3 se analizan comparativamente los tipos de iluminación disponibles en el mercado, se hace un balance de intensidad, adaptabilidad y costos, igualando el consumo, para optar por la mejor opción.

Cuadro 4 Comparación de tipo de luces

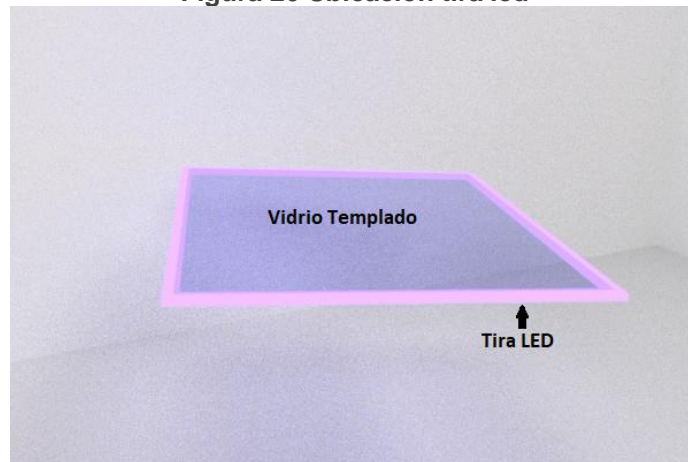
Tipo	descripción	Intensidad	Consumo	adaptabilidad	Costo
LED	Semiconductor de eficiencias altas, ocupa reducido espacio	Media	Bajo	alta	Alto
Fluorescente	Bombilla al vacío, descarga en vapor de mercurio a baja presión	Alta	Medio	baja	Medio
Incandescente	Bombilla al vacío, su principio de funcionamiento es el efecto Joule	Media	Alto	media	Bajo

Halógena	Bombilla al vacío, su principio de funcionamiento es la reacción química del halógeno con un filamento.	Baja	Alto	media	Bajo
----------	---	------	------	-------	------

Fuente: (Ner Getia, 2015), (DAILUXLED, 2017)

Se elige la iluminación tipo LED, por su fácil adaptabilidad, además de un bajo consumo, lo que contribuye a la portabilidad de la plataforma y se ubican a los costados de los vidrios, *figura 26*.

Figura 26 Ubicación tira led



Fuente: Autores

4.2.3. Software

El entorno de desarrollo integrado Matlab, se adapta a los requerimientos básicos del sistema, ya que ofrece funciones especializadas para el procesamiento de imágenes, una comunidad de desarrollo activa, entorno gráfico, además de ser un software educativo, lo cual facilita el desarrollo de algoritmos y técnicas; en cuanto a las falencias del software, se encuentra que su entorno de desarrollo y depuración consume altos recursos computacionales, también que no es un software libre.

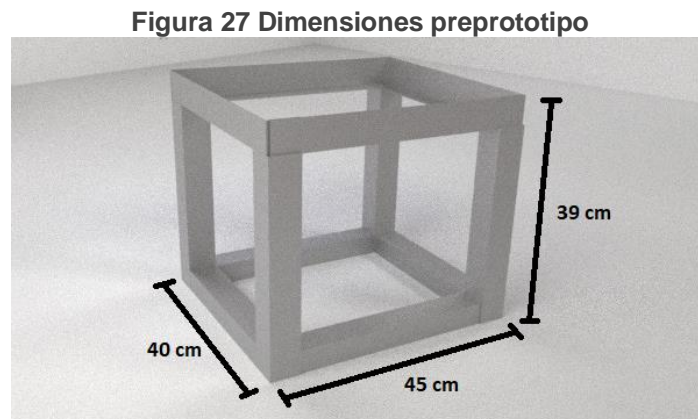
- **Backend:** El lenguaje de programación de Matlab, es conocido como el lenguaje punto m (.m) el cual funciona tanto de manera secuencial, como orientado a objetos, contando con funciones dedicadas a visión artificial y procesamiento de imágenes también con un depurador y editor de texto avanzados, lo cual es importantes para el desarrollo exitoso del proyecto (MathWorks, 2016).

- **Frontend:** Matlab cuenta con una interfaz gráfica de usuario llamada guide, que permite la interactividad del usuario con los algoritmos realizados en backend (MathWorks, 2016).

Se elige este entorno de desarrollo para diseñar el prototipo inicial, por ser un software educativo que soporta aplicaciones de visión artificial y permite la creación de interfaz gráfica, también porque la universidad de Cundinamarca cuenta con este software licenciado y disponible en todo su campus.

4.2.4. Dimensiones

Teniendo en cuenta el enfoque de la cámara y el largo máximo de un pie de una persona promedio (34 cm) (blitzresults, s.f.) , se diseña la estructura y demás componentes en el software de modelado 3D Blender, el diseño consta de una plataforma cubica de 40 cm de largo por 45 cm de ancho a una altura de 39 cm, *figura 27*.



Fuente: Autores

La plataforma está diseñada en vigas aluminio de 2cm por 2 cm, el cual proporciona una resistencia aceptable y un bajo peso. Las caras exteriores de la plataforma fueron elaboradas en cartón prensado, para minimizar el peso y proporcionar una resistencia aceptable, *figura 28*.

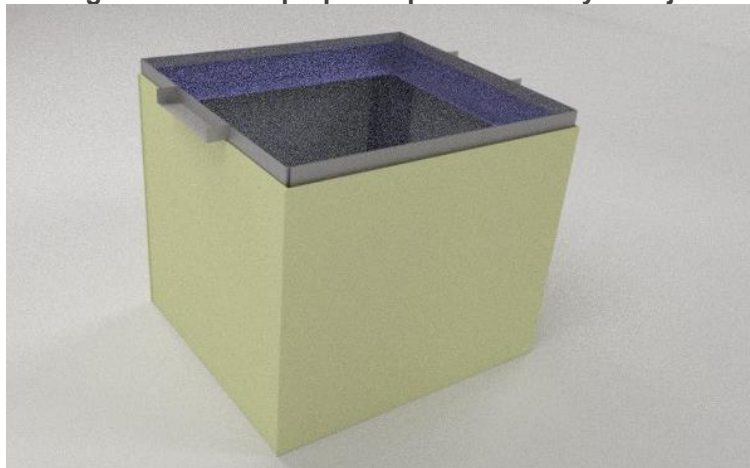
Figura 28 Plataforma con caras exteriores.



Fuente: Autores

La parte superior de la plataforma está adaptada para soportar los vidrios y la tira de leds, adicionalmente se agregan dos salientes a lo ancho de la plataforma, para facilitar la transportada de la plataforma podoscopica.

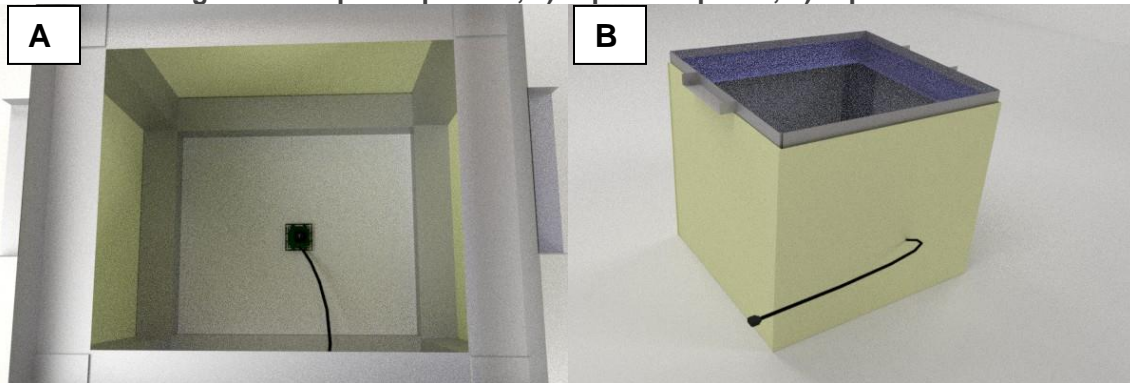
Figura 29 diseño preprototipo con vidrio y manijas



Fuente: Autores

Para finalizar se agrega la cámara previamente seleccionada en la parte inferior central de la plataforma, su el cable USB se saca por un costado, también se debe alimentar la tira led con un adaptador de 12 voltios como se evidencia en la *figura 30*.

Figura 30 Preprototipo final, a) captura superior, b) captura frontal



Fuente: Autores.

La construcción física de la plataforma podoscopica se realizó cumpliendo la totalidad de requerimientos mínimos y diseños realizados como se evidencia en la *figura 31* la cual finalizo con un peso total de 8 kg.

Figura 31 Plataforma Podoscopica



Fuente: Autores

Al realizar las primeras capturas con la plataforma con un individuo de prueba se obtuvieron imágenes como la mostrada en la *figura 32*, las cuales evidentemente no son fácilmente segmentables, por la cantidad de luz que refleja el vidrio.

Figura 32 primera fotografía con plataforma podometrica.



Fuente: Autores

Pensando en prevenir los posibles errores de software, al intentar procesar una imagen con cantidades grandes de luz no deseada, se rediseña el sistema de iluminación y finalmente se opta implementar una capa de poliestireno difuminador, entre los leds y el vidrio, para filtrar los excesos de luminosidad como se muestra en la *figura 33*.

Figura 33, Rediseño de sistema de iluminación, añadiendo lamina difuminadora.



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos con el nuevo sistema fueron muy satisfactorios, como se evidencia en la *figura 34*, la cual es más fácil de segmentar que su anterior versión.

Figura 34 imagen captada al adicionar lamina difuminadora

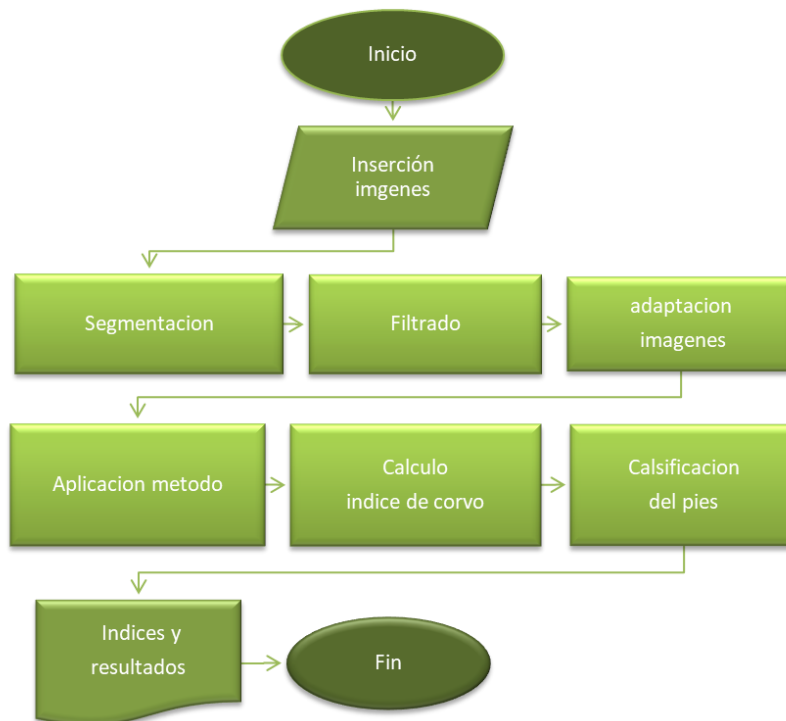


Fuente: Autores.

4.2.5. Algoritmos

Los algoritmos para el procesamiento, aplicación del método y visualización de las imágenes se estructuran secuencialmente como muestra la *figura 35*.

Figura 35 Diagrama de flujo, algoritmos



Fuente: Autores.

Para la inserción de imágenes se plantean dos posibilidades, la primera y más común, que el usuario capte el examen en tiempo real, o que este sea tomado con anticipación, y se pueda importar una imagen desde la galería, al existir estas dos posibilidades se identifica un problema de unificación de archivos, ya que en la opción de cargar un examen tomado con anticipación, el usuario podría importar cualquier tipo de imagen, encontrando en esto una restricción técnica para el sistema, obligando al usuario a usar siempre el mismo formato de imagen, preestablecido como fondo oscuro y huella clara, como se observa en las huellas de ejemplo de la *figura 36*.

Figura 36 Huellas de prueba, a) método manual, b) Podoscopio



Fuente: Autores

Como se observa en el diagrama de la *figura 35*, el paso a seguir es la segmentación, este paso es limitado por la calidad de las imágenes que se capturen, ya que si se insertan imágenes donde la huella es discriminable fácilmente del resto de la imagen, el método de segmentación no toma relevancia, y se puede implementar cualquier técnica, pero de lo contrario, es dable realizar una segmentación robusta y dedicada a la aplicación, donde se analice tanto componentes morfológicos, al igual que de tonalidad, por tal motivo, el diseño estructural de la plataforma debe estar enfocado a la obtención de imágenes limpias, como las observadas anteriormente (*figura 36*), para facilitar la elaboración de algoritmos de segmentación, minimizando los índices de error que pueda presentar el sistema podometrico.

Después de segmentar una imagen, es posible hallar ruido que no se pudo discriminar y eliminar con la segmentación, *figura 37*, para estos casos, el algoritmo debe implementar una técnica que no altere las huellas captadas, pero que elimine efectivamente el ruido no deseado de estas, como lo es la discriminación por áreas, para lo cual se debe identificar morfológicamente que áreas pertenecen a la huella y cuáles no.

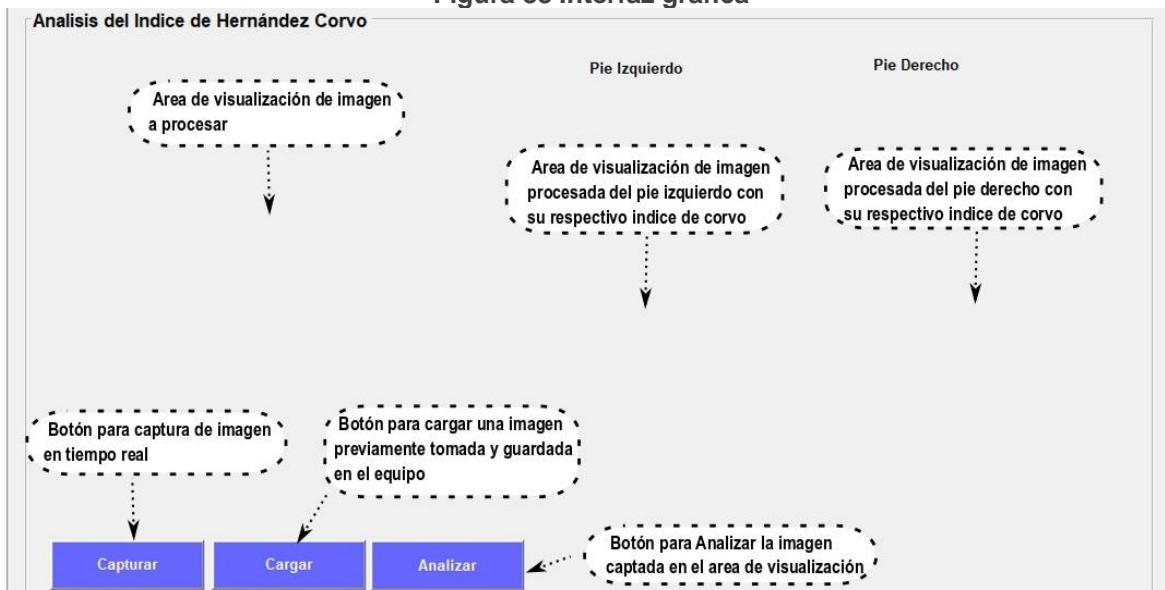
Figura 37 Imagen segmentada con ruido



Fuente: Autores.

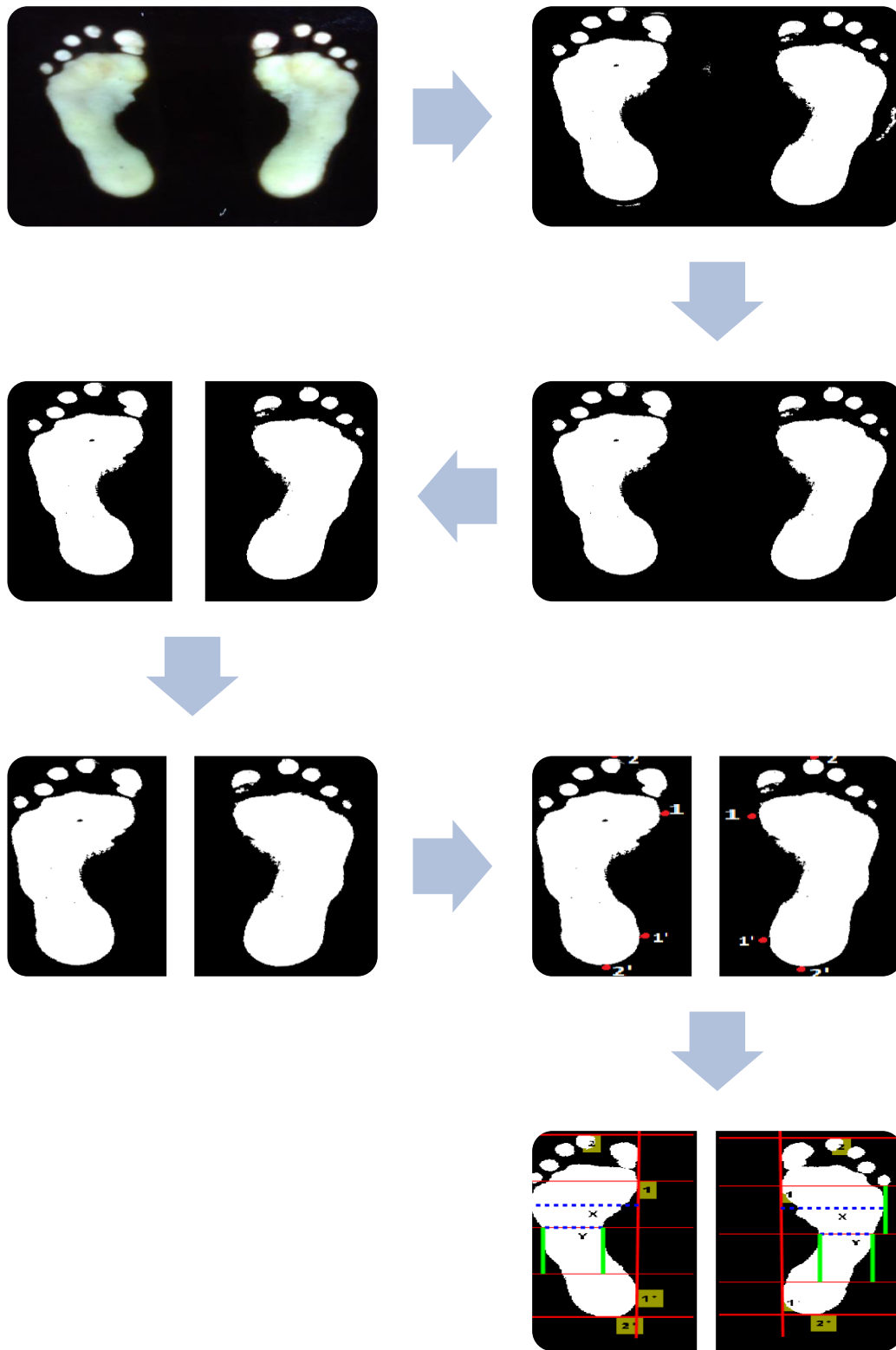
Los pasos por seguir ya dependen netamente del método a implementar (índice de Hernández corvo), en el cual se exigen parámetros como la separación de huellas, alineación de la huella en una cuadrícula, resaltado de puntos clave, y demás lineamientos que exige el método. Primero se debe adaptar la imagen, para pasar de una sola imagen con dos huellas, a una imagen por huella, posteriormente aplicar el método en el se exige, enderezar las huellas, encontrar puntos clave, trazar cuadrícula y finalmente encontrar las medidas importantes en el método (X y Y), como se observa en la *figura 39*. Finalmente, para la interactividad con el usuario final, se diseña la interfaz gráfica en un guide de Matlab, el cual nos permite crear de una manera educativa y visualmente agradable, una interfaz gráfica que cumple con los requerimientos mínimos de diseño *figura 38*.

Figura 38 Interfaz grafica



Fuente: Autores.

Figura 39 secuencia de procesado de la huella



Fuente: Autores.

4.3. Implementación de algoritmos.

Los algoritmos que se deben implementar siguen el diseño y secuencia elaborada anteriormente, mostrada en la *figura 39*. La conexión entre computadora y la plataforma podoscopica es de tipo serial, interconéctatelas con un cable USB; para acceder a la cámara desde Matlab; para realizar un examen en tiempo real, se utiliza la función `videoinput`, donde se especifica el puerto lógico donde se encuentra la cámara y el formato de la imagen a capturar (MathWorks, 2016), en el caso de seleccionar la opción cargar imagen, el programa debe direccionar al usuario al explorador de archivos donde se seleccionara la imagen a analizar, en el formato ya establecido (fondo oscuro).

La imagen ingresada se guarda en una variable global, con el fin de acceder a esta desde cualquier función o parte del algoritmo; el paso a seguir es la segmentación por el método Otsu, el cual es probado con la *figura (36.a)*, la cual pertenece a un examen tomado empíricamente, mediante métodos manuales, obteniendo los resultados de la *figura 40*.

Figura 40 huella segmentada



Fuente: Autores

Posteriormente se separan los pies, realizando un análisis por áreas y contornos, para conocer la posición exacta de cada huella por separado, dando un margen considerable de pixeles para discriminar cada huella.

A cada huella se le implementa los ajustes pertinentes para el posicionamiento de la huella, de tal manera que los puntos 1 y 2 queden ubicados de manera paralela verticalmente, girando la imagen los grados que sean necesarios, logrando los resultados satisfactorios de la *figura 41*.

Figura 41 trazado de línea 1 a 1'



Fuente: Autores

Seguidamente se hallan los puntos 2 y 2', los cuales se hallan fácilmente recorriendo la imagen en sentido descendente para el punto 2 y ascendente para el punto 2', luego de hallarlos se trazan las líneas pertinentes como se observa en la figura 42.

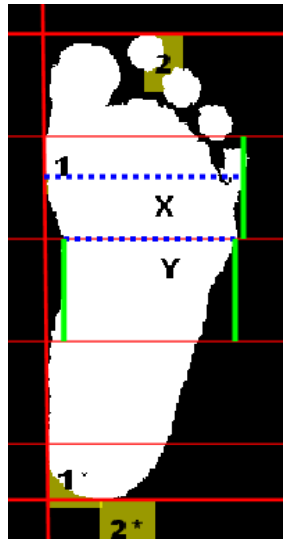
Figura 42 Trazado línea superior



Fuente: Autores

Las siguientes líneas se ubican fácilmente según el método para hallar el índice de corvo, adicionalmente se agregan etiquetas y líneas guía para un mejor entendimiento de los trazos, *figura 43*.

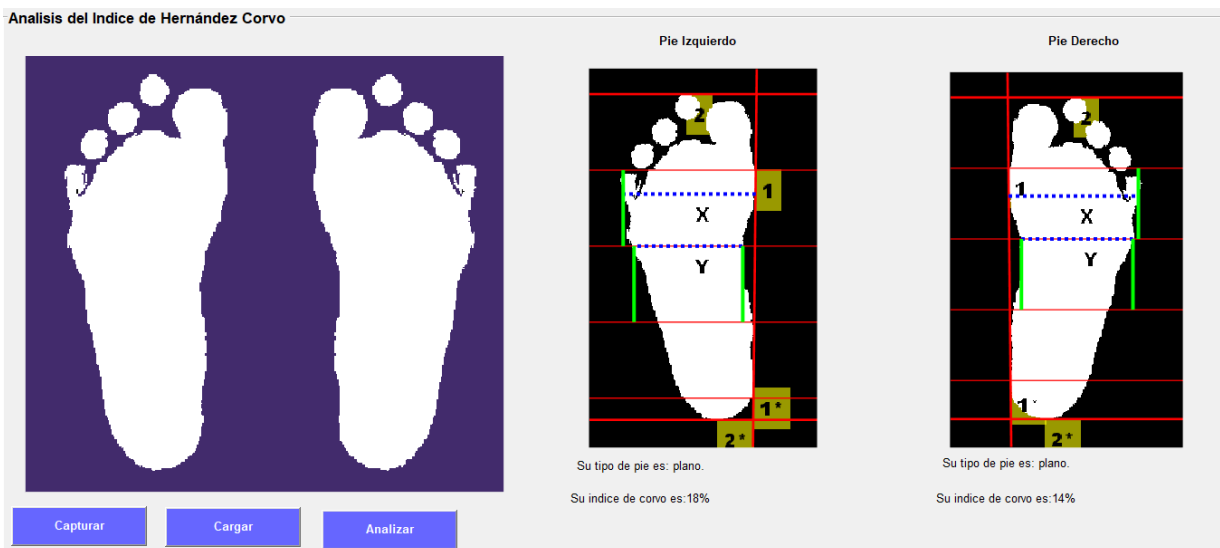
Figura 43 resultados finales de índice de Hernández corvo



Fuente: Autores

El algoritmo elaborado, se visualiza en la interfaz de usuario guide de Matlab, según los diseños previos, como se evidencia en la *figura 44*.

Figura 44 Huellas plantares procesadas desde guide



Fuente: Autores.

Se aclara que esta primera prueba se realiza cargando una imagen desde el explorador de archivos, para una segunda prueba se conecta la plataforma podoscópica a la plataforma, se conecta el adaptador de 12V de la tira LED a la red eléctrica, y se posiciona un individuo "0", *figura 45* sobre la plataforma, obteniendo resultados erróneos inesperados, por la cantidad de luz ambiente incidente.

Figura 45 individuo 0 en plataforma



Fuente: Autores

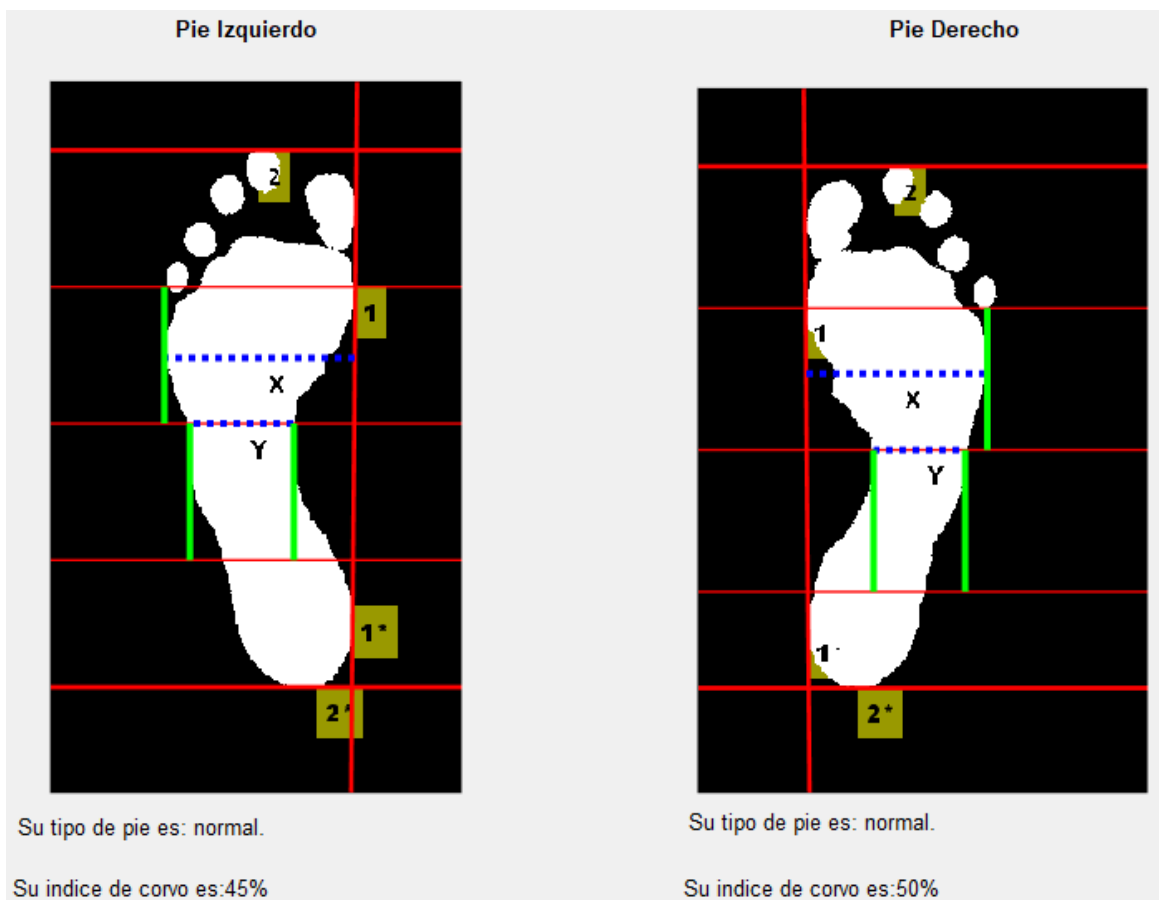
Para corregir este error, fue necesario bloquear la luminosidad incidente, tapando la plataforma con una tela oscura *figura 46*, lo cual soluciono momentáneamente el fallo, y se obtuvo el resultado de la *figura 47*.

Figura 46 plástico oscuro que bloquea luz del ambiente



Fuente: Autores.

Figura 47 resultados obtenidos al corregir fallo de luz incidente



Fuente: Autores.

5. Capítulo 5. Análisis de resultados

Para analizar la efectividad y validar el podoscopio realizado, es fundamental contar con la ayuda de un profesional experimentado en huellas plantares, quien conozca la técnica y realice los examen de manera manual, con el fin de comparar los resultados obtenidos por él, con los resultados obtenidos con la plataforma podoscopica , en este punto fueron importante las colaboraciones de la facultad de ciencias del deporte y educación física, en la cual se tomaron las primeras muestras evidenciado en la *figura 48* y se recibió capacitación para realizar exitosamente exámenes de huellas plantares.

Figura 48 A) Experto realizando examen a un individuo, B) Huella final con trazos respectivos del método



Fuente: Autores.

Para la validación se selecciona una muestra de 15 personas escogidas aleatoriamente de la universidad de Cundinamarca, las cuales acceden a realizaren el examen de manera manual y posteriormente con el podoscopio, obteniendo los índices de la tabla 1 los cuales son clasificados en el cuadro 5.

Tabla 1 Índices en exámenes de validación

individuo	Índice pie derecho (manual)	Índice pie derecho (podoscopio)	Índice pie izquierd0 (manual)	Índice pie izquierdo (podoscopio)
1	55	59	56	62
2	63	63	63	67
3	52	57	49	57
4	77	83	60	67
5	60	55	72	59
6	55	55	54	65
7	59	58	64	60
8	54	65	66	67
9	66	69	55	68
10	59	62	53	61
11	61	60	64	73
12	69	67	64	65
13	57	59	60	64
14	40	36	38	47
15	54	54	46	53

Fuente: Autores.

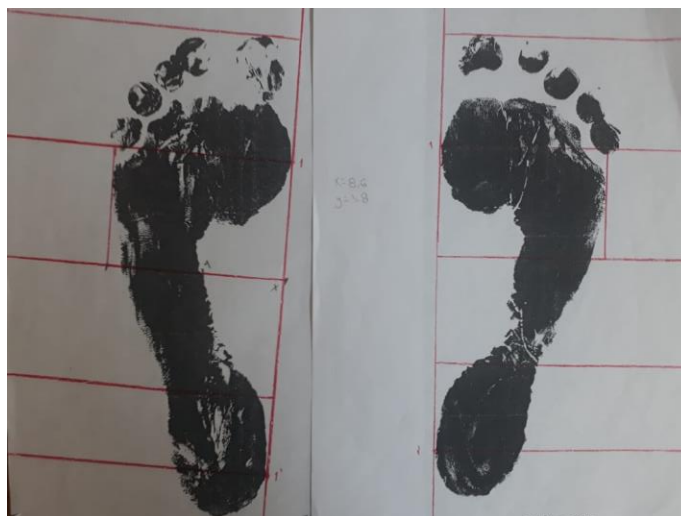
Cuadro 5 Clasificación pies, según índice

individuo	Índice pie derecho (manual)	Índice pie derecho (podoscopio)	Índice pie izquierd0 (manual)	Índice pie izquierdo (podoscopio)
1	Pie normal/cavo	Pie normal/cavo	Pie normal/cavo	Pie cavo
2	Pie cavo	Pie cavo	Pie cavo	Pie cavo
3	Pie normal/cavo	Pie normal/cavo	Pie normal	Pie normal cavo
4	Pie cavo fuerte	Pie cavo fuerte	Pie cavo	Pie cavo
5	Pie cavo	Pie normal/cavo	Pie cavo	Pie normal cavo
6	Pie normal/cavo	Pie normal/cavo	Pie normal/cavo	Pie cavo
7	Pie normal/cavo	Pie normal/cavo	Pie cavo	Pie cavo
8	Pie normal	Pie cavo	Pie cavo	Pie cavo
9	Pie cavo	Pie cavo	Pie normal cavo	Pie cavo
10	Pie normal/cavo	Pie cavo	Pie normal/cavo	Pie cavo
11	Pie cavo	Pie cavo	Pie cavo	Pie cavo
12	Pie cavo	Pie cavo	Pie cavo	Pie cavo
13	Pie normal/cavo	Pie normal/cavo	Pie cavo	Pie cavo
14	Pie normal	Pie plano/normal	Pie plano/normal	Pie normal
15	Pie normal	Pie normal	Pie normal	Pie normal

Fuente: Autores.

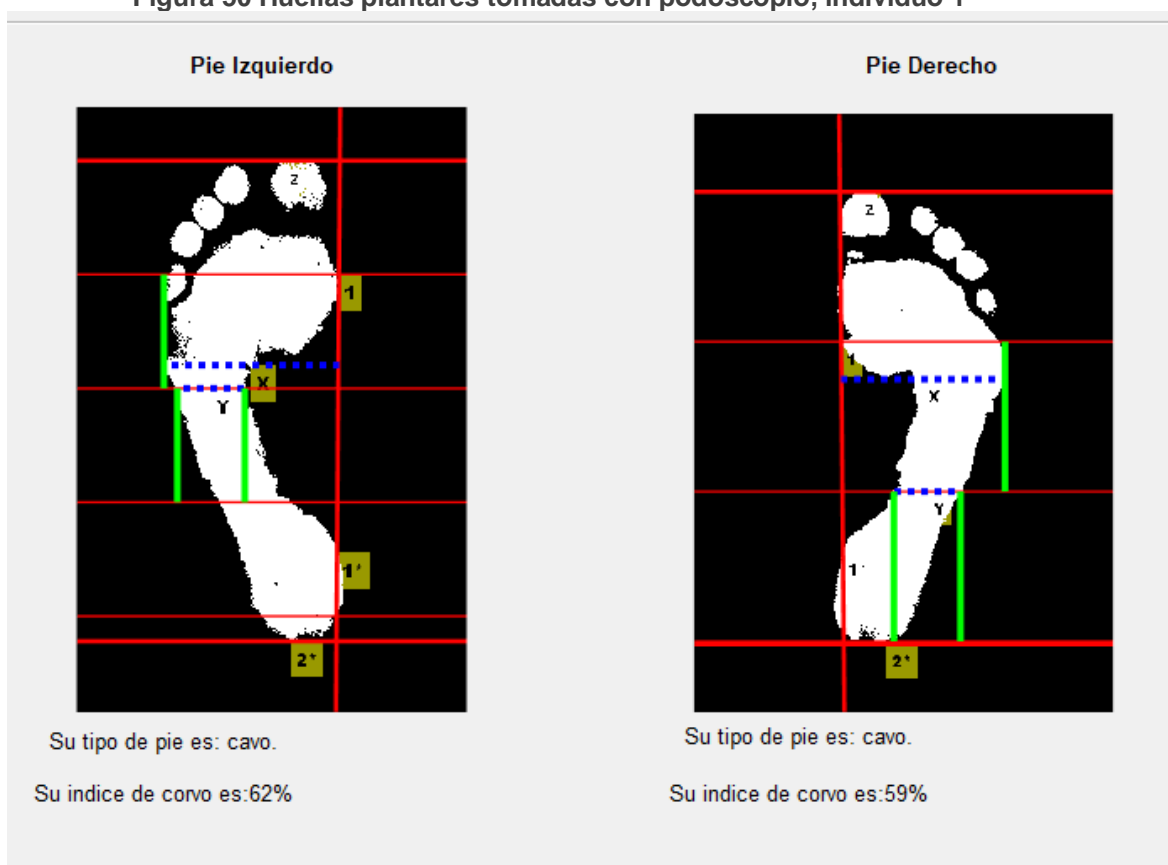
Para el método manual se pinta un pie del individuo y se le hace apoyarlo sobre una hoja blanca, el mismo proceso aplica para cada pie, las huellas plantares se fotocopian con el fin de no dañar los exámenes originales al trazar las líneas, como se muestra en la *figura 49*, para el examen con la plataforma podoscopica, se debe limpiar el pie al individuo y con esto posteriormente ejecutar el software, *figura 50*.

Figura 49 Huellas plantares método manual, individuo 1



Fuente: Autores.

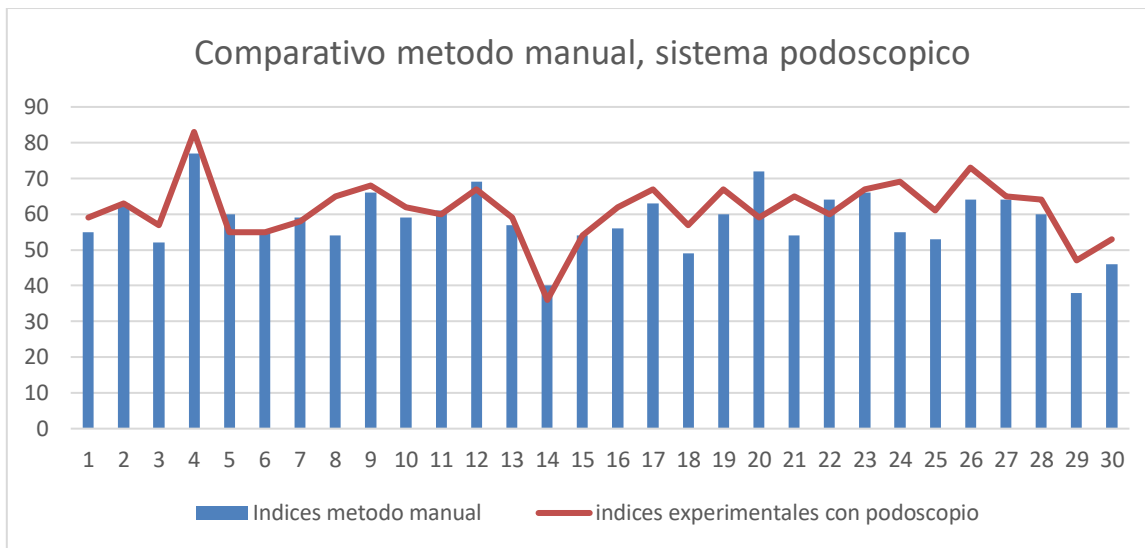
Figura 50 Huellas plantares tomadas con podoscopio, individuo 1



Fuente: Autores.

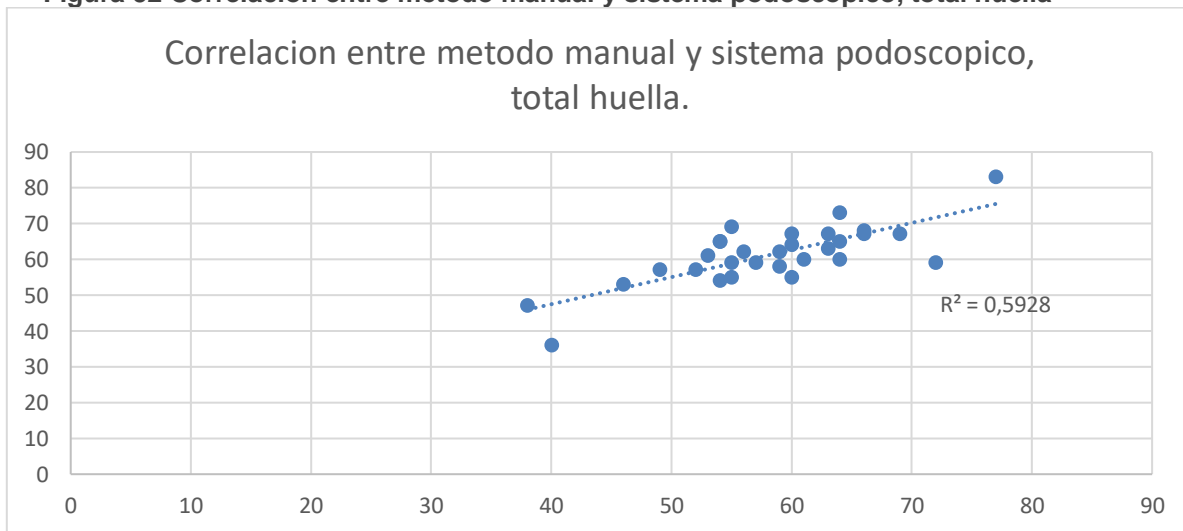
Los resultados obtenidos, se tabularon y graficaron para hallar la correlación de resultados y validar el sistema, para graficar los resultados se unieron los índices de los pies de los individuos, ya que el sistema realiza el mismo tratamiento a cada huella, y no sería válido discriminarlos como se evidencia en las *figuras 51 y 52*.

Figura 51 Comparativo método manual, sistema podoscopico



Fuente: Autores.

Figura 52 Correlación entre método manual y sistema podoscopico, total huella

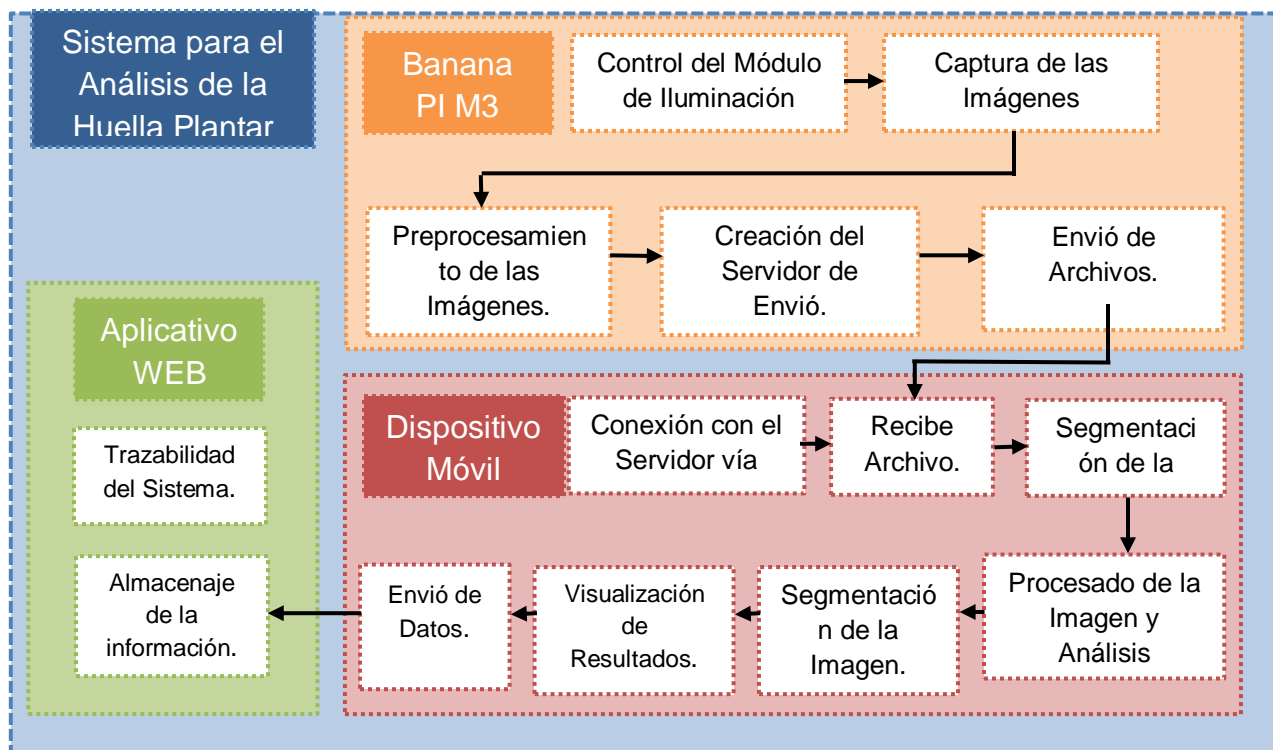


Fuente: Autores.

La *figura 51* compara el total de las 30 huellas, encontrando gráficamente como se aproximan los datos obtenidos por el podoscopio, con los obtenidos con el método manual, concluyendo que los resultados arrojados con el sistema podoscopico, tienden a ser mayores en su índice de corvo, pero conservando una proporcionalidad con los obtenidos por el método manual.

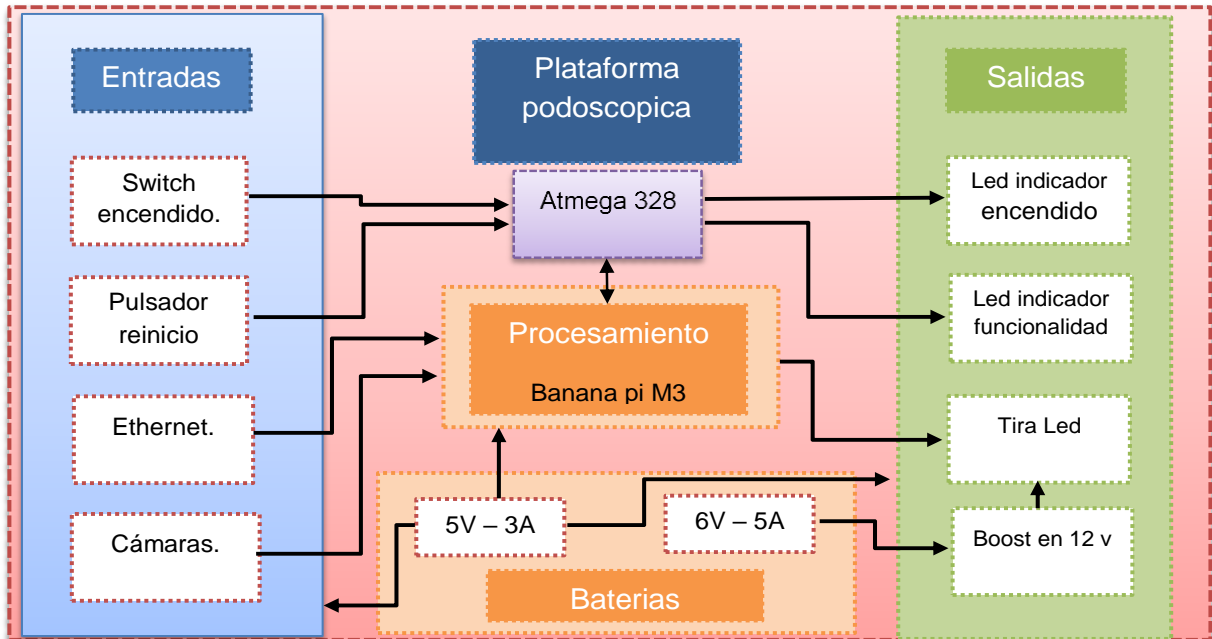
Con la *figura 52* se halla la correlación entre los resultados, los cuales arrojan una coincidencia del 59,3%, este porcentaje fue muy bajo, lo cual deja una incertidumbre en los resultados, por tal razón se inicia el diseño de una plataforma podoscopica en colaboración del auxiliar de investigación, Cristian Andrés Hernández García, quien rediseña el prototipo integrando aplicativo web, aplicativo móvil, almacenaje de información, almacenamiento de energía, procesamiento en la plataforma y comunicación wifi, como se evidencian en las *figuras 53* y *54*, que recopila los procesos tanto de software como de hardware.

Figura 53 Diseño software, prototipo final



Fuente: Autores.

Figura 54 Diseño hardware, prototipo final

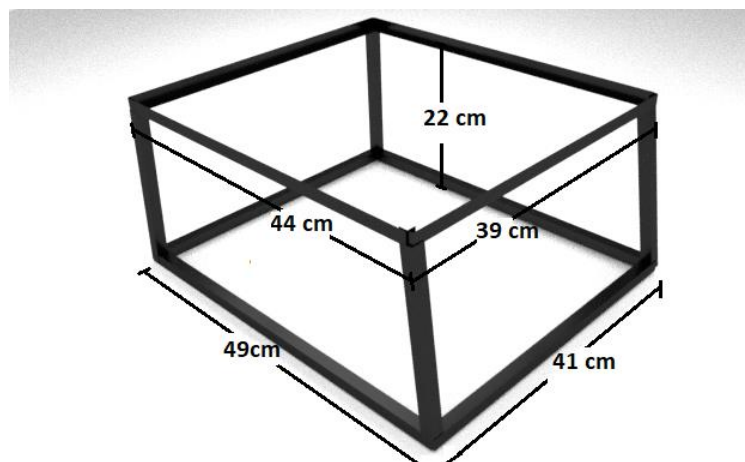


Fuente: Autores.

5.1. Dimensiones

Teniendo en cuenta el enfoque de las cámaras, el largo máximo de un pie de una persona promedio (blitzresults, s.f.), la totalidad de componentes, conexiones y la experiencia del preprototipo, se rediseña la estructura, con una plataforma superior de 39 cm de largo por 44 cm de ancho a una altura de 22 cm, y una plataforma base inferior de 41 cm de largo por 49 cm de ancho, *figura 55*

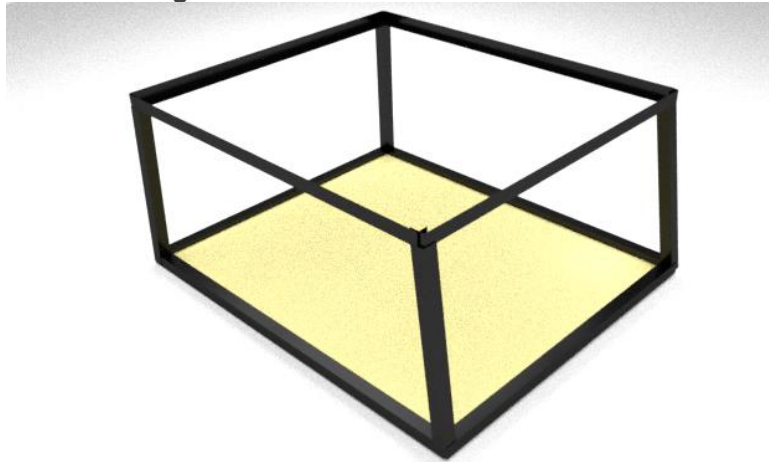
Figura 55 Dimensiones plataforma



Fuente: Autores.

La forma de hexaedro piramidal fue diseñada con el fin de generar mayor estabilidad para el usuario que suba a esta; la base de la plataforma está fabricada de MDF, el cual facilita la inserción de los demás componentes, *figura 56*.

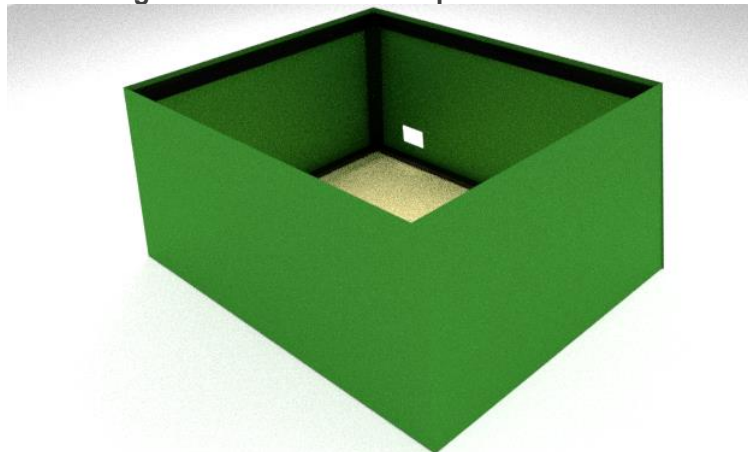
Figura 56 Plataforma con base de MDF



Fuente: Autores.

Las paredes de la plataforma deben cumplir los requerimientos de portabilidad del dispositivo, por tal razón, el acrílico de 2 mm de grosor se adapta perfectamente, proporcionando seguridad, resistencia y portabilidad a la plataforma, *figura 57*.

Figura 57 Plataforma con paredes externas

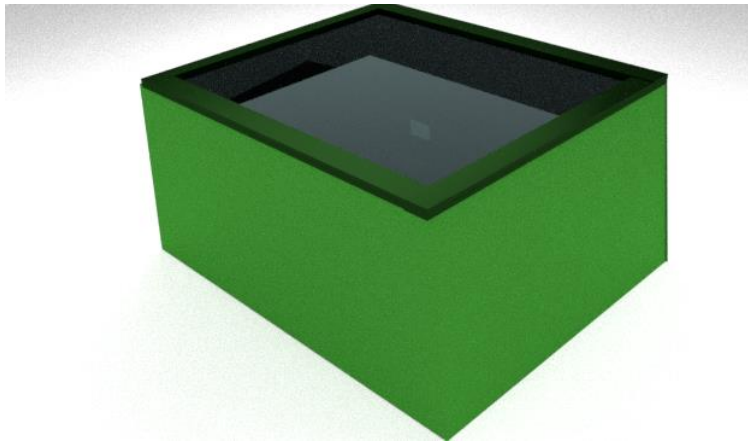


Fuente: Autores.

5.2. Iluminación

Las dimensiones de los vidrios se toman de la anterior plataforma (dos vidrios templados de 39cm de largo por 44cm de ancho y 5mm de espesor cada uno, uno transparente y otro color humo). Adicionalmente se debe colocar cinta de 2 cm de ancho por los lados de los vidrios y la lámina difuminadora, para enfocar los leds y lograr uniformidad en la luz, se llega a esta conclusión al corregir fallos del preprototipo *figura 58*.

Figura 58 Plataforma con vidrios



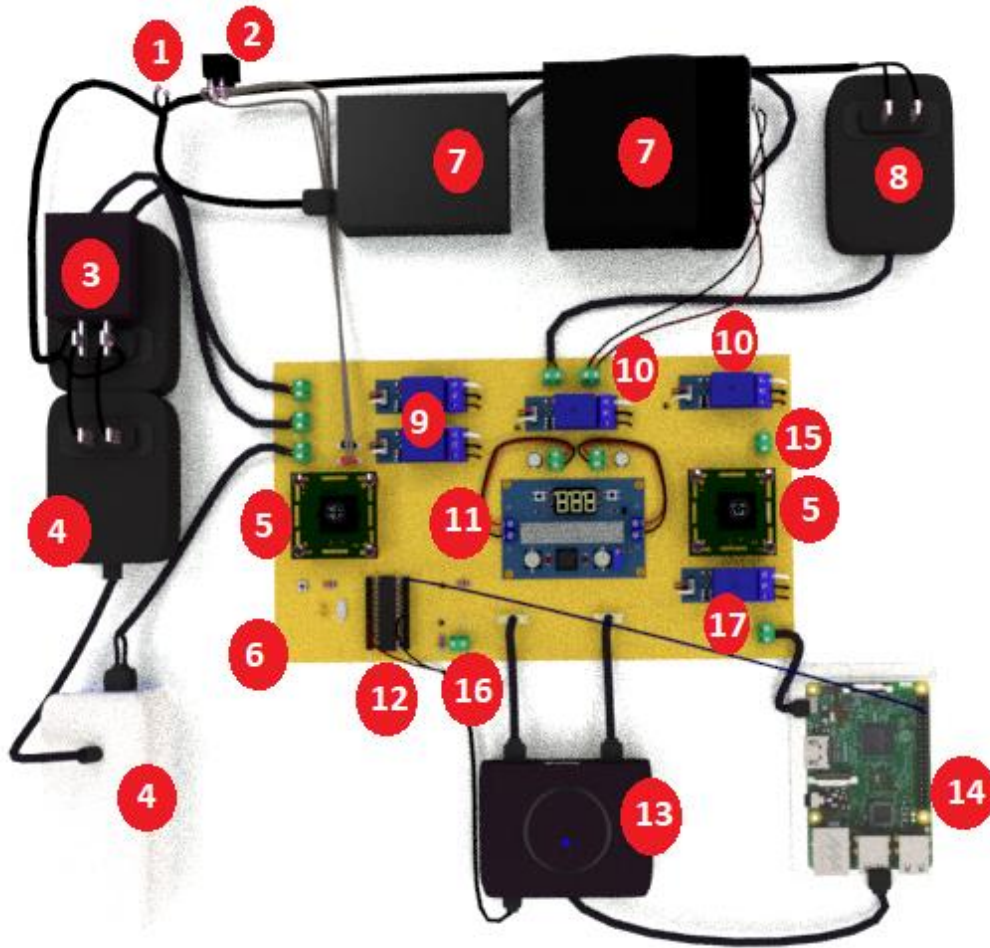
Fuente: Autores.

5.3. Disposición de elementos

Según los diseños y componentes necesarios, establecidos en el grupo de investigación, se realiza la disposición de los elementos importantes de la plataforma podoscópica.

La distribución de los componentes internos de la plataforma podoscópica se diseña de tal manera que se adapten a las dimensiones de la base, también para no interferir en el campo focal de las caras, y de tal manera que el peso se distribuya equitativamente, el diseño final se muestra en la *figura 59 y 60*.

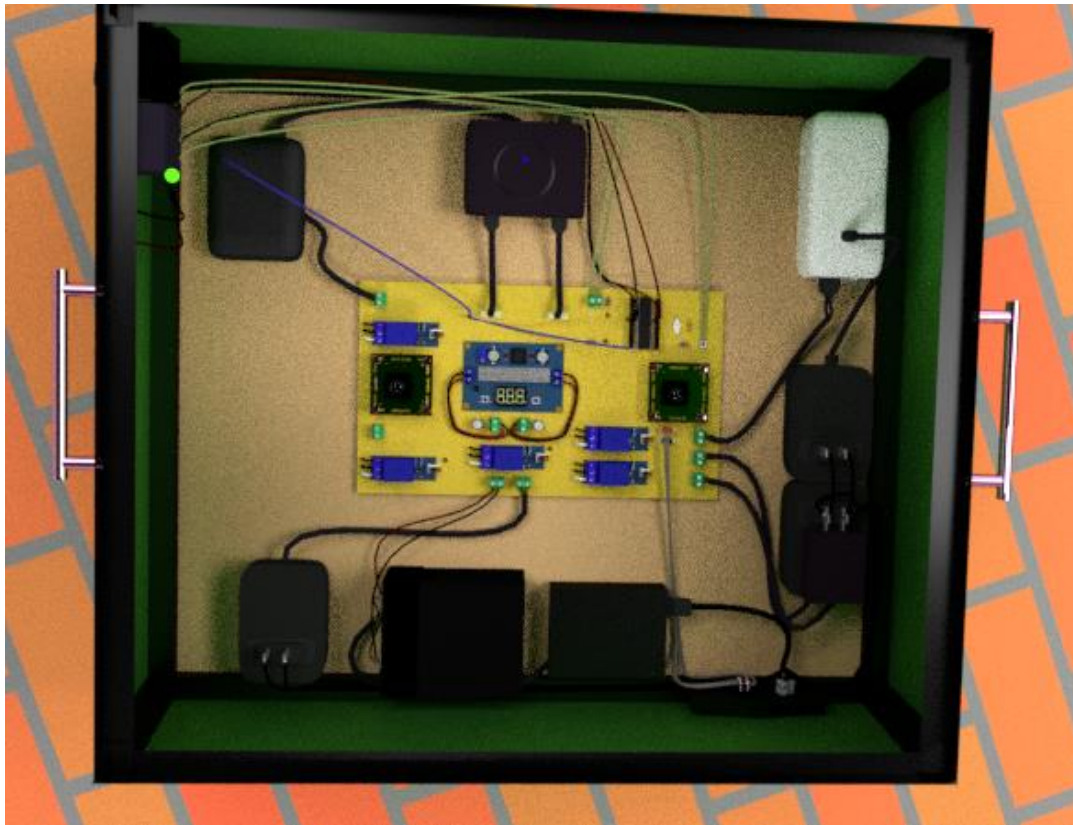
Figura 59 Disposición elementos internos



Fuente: Autores.

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Conexión AC. 2. Conexión switch. 3. Adaptador 5V a 3A. 4. Batería 5V con adaptador 5V a 3A. 5. Cámaras visión artificial. 6. Circuito impreso. 7. Batería de 6 voltios con adaptador 8V a 9A. 8. Adaptador 12V a 3A. 9. Relé cambio de baterías interna a adaptadores. | <ol style="list-style-type: none"> 10. Relés encendido luces Leds y activación boost. 11. Boost elevador de 6 a 12 voltios. 12. Atmega 328 y su debida polarización. 13. Hub. 14. Banana pi. 15. Conector tiras Led. 16. Conector switch de encendido. 17. Relé energización de Bana pi. |
|---|--|

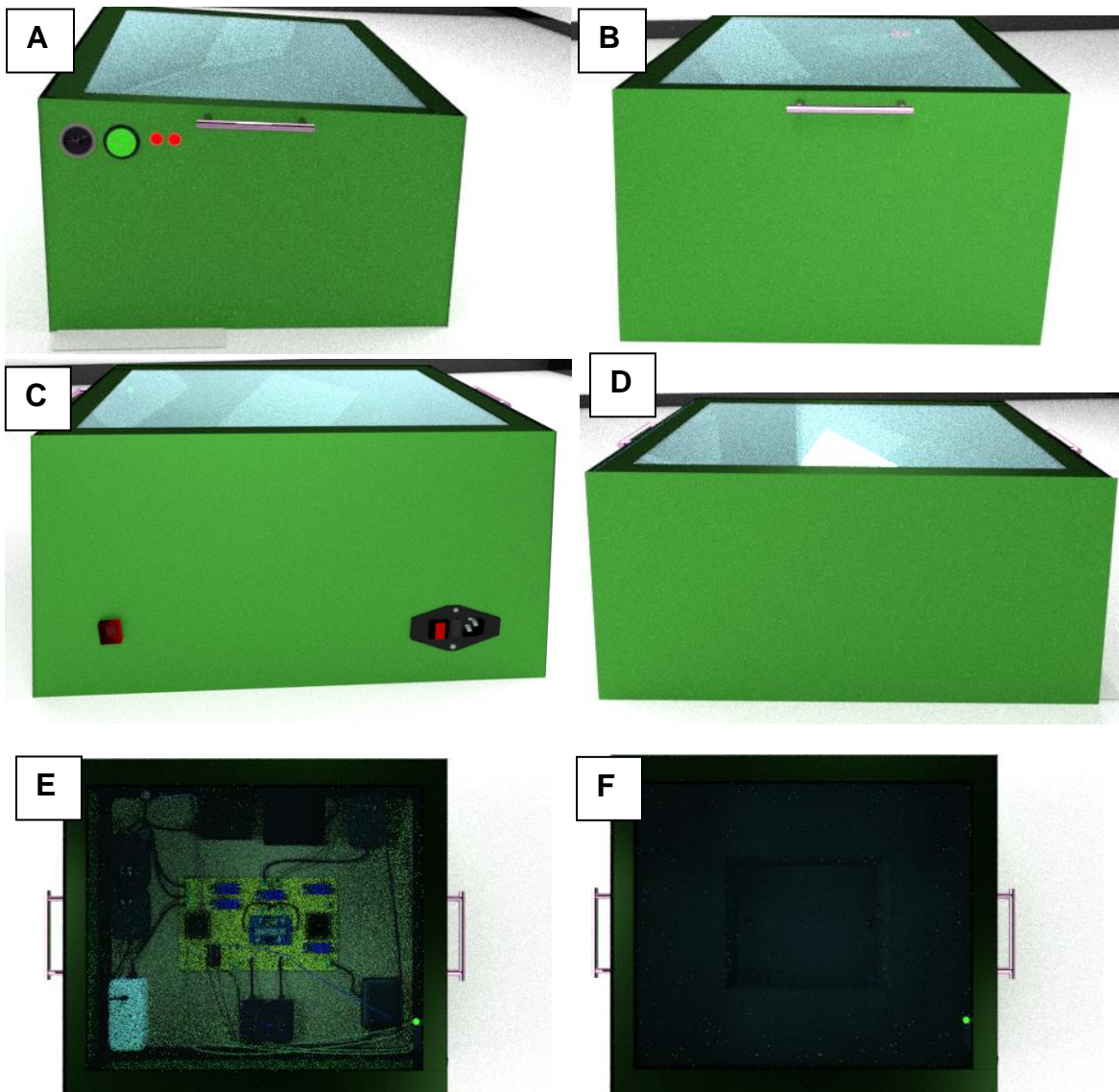
Figura 60 Disposición elementos dentro de caja



Fuente: Autores.

La distribución de los componentes externos de la plataforma podoscópica se diseñan de tal manera que se adapten a las dimensiones de la plataforma podoscópica, el posicionamiento de los accesorios externos se visualiza en la *figura 61*.

Figura 61 Disposición de elementos externos plataforma A) derecha, B) izquierda, C) atrás, D) adelante, E) superior sin protección, F) superior con protección.



Fuente: Autores.

En la lámina de la derecha visualizada en la *figura 61.A*, se visualiza un switch, de encendido y apagado de la banana pi, un pulsador para reiniciar el sistema, y dos leds rojos indicadores de encendido de la plataforma.

En la lámina trasera visualizada en la *figura 61.C*, se encuentran a la parte inferior derecha un switch de encendido de la plataforma y un conector de poder ac, y en la parte inferior izquierda, un conector Jack Rj45 que permite la conectividad ethernet de la plataforma.

Se adiciona un led que indica cuando el sistema está listo y disponible para usarse, ubicado en la parte superior hacia una esquina

Adicionalmente se instala una manija de aluminio en la lámina derecha e izquierda, parte superior, para facilitar el transporte de la plataforma podometrica; finalmente se coloca una tapa de cartón prensado para proteger la parte circuito y mejorar la estética del dispositivo, como se muestra en la *figura 61.C*.

6. Conclusiones

Con el prototipo de podoscopio se logró obtener una correlación en los resultados de un 59,3% comparando dichos valores con el método manual de Hernández corvo (Corvo, 1989). Sin embargo, diferentes factores afectaron la precisión del sistema podoscopico, el principal factor fue la incidencia de la luz externa sobre el vidrio, lo que imposibilita una correcta segmentación de las huellas, así mismo se resalta el hecho de que el método manual es subjetivo, impreciso, demorado y tedioso debido al proceso manual que se lleva a cabo para la captura de la huella sobre una hoja de papel.

En los exámenes manuales desarrollados con la ayuda del doctor Gabriel Montoya, se identificaron problemas como: fallos en la aplicación de la pintura en las plantas del pie, la mala postura del individuo y deslizamiento del pie sobre la hoja de papel, por los anteriores motivos la validación del sistema no presentó una mayor correlación debido a que los rangos de clasificación de los tipos de pie son muy pequeños y cualquier variación implica que la clase cambie. Mientras que con la implementación de la plataforma podoscopica final, se disminuyen efectos negativos como el tiempo, la subjetividad y lo tedioso.

Los algoritmos diseñados cumplen con los requerimientos preestablecidos, como la automatización del proceso mediante el uso de una interfaz de usuario intuitiva, además de optimizar los tiempos de ejecución los cuales, por el método manual, son de alrededor 20 a 30 minutos, y con el preprototipo alrededor de 15 segundos en ubicación del paciente, captura de examen y ejecución de algoritmos del método de Hernández corvo, lo cual optimiza el tiempo de ejecución considerablemente.

En cuanto a la seguridad y estabilidad del preprototipo, los usuarios realizaron observaciones y sugerencias, aquejando baja seguridad de la plataforma, ya que, al contar con 39 cm de alto, y tan solo 40 por 45cm de base, visualmente genera desconfianza, esto debido a que los diseños se centraron en la funcionalidad y seguridad, sin importar los aspectos visuales, los cuales se corrigen en la plataforma final.

Finalmente, el desarrollo del prototipo se convierte en la primera fase de una plataforma podoscópica que combina métodos de procesamiento de imágenes y comunicación inalámbrica vía WiFi complementado con un sistema de información,

la cual le permitirá a la institución contar con una herramienta para realizar la trazabilidad de la huella plantar con el fin de evitar alteraciones en la postura.

Bibliografía

- AliExpress. (s.f.). *AliExpress*. Obtenido de <https://es.aliexpress.com>
- alojamientos. (s.f.). *alojamientos.us*. Obtenido de <http://alojamientos.us.es/gtocom/pid/tema4.pdf>
- Aragonés Ferrero, J., & Luján Mora, S. (2008). *Imagen digital*. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad de Alicante: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/22135/4/gi_v-08_09-03-ImagenDigital.pdf
- Aurélien, D., André, T., & Pierre, M. (2009). Baropodometric information return device for foot unloading. *EISevier*, 7.
- bcnvision. (abril de 2017). *Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial (Parte II)*. Obtenido de <http://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/>
- Berdejo-del-Fresno, L. S.-L. (2011). ALTERACIONES DE LA HUELLA PLANTAR EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA REALIZADA. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte*, 13, 21.
- blitzresults. (s.f.). *Tallas Zapatos: Conversor, Equivalencias US, UK, ES, EU, MX + Medidas*. Obtenido de <https://www.blitzresults.com/es/talla-de-calzado/>
- Cantone, D. (2008). *La biblia del programador: Implementación y Debugging*. Buenos Aires: MP Ediciones.
- Corvo, R. H. (1989). Morfología funcional deportiva: sistema locomotor.
- D. Berdejo-del-fresno, A. J.-L. (2013). FOOTPRINT MODIFICATIONS ACCORDING TO THE PHYSICAL ACTIVITY PRACTISED. *Revista internacional de medicina y ciencias de la actividad física y el deporte*.
- DAILUXLED. (Agosto de 2017). *DAILUXLED*. Obtenido de <https://www.dailuxled.com/blog/consumo-iluminacion-led-iluminacion-tradicional/>
- Díaz, C. A., Torres, A., & Ramirez, J. I. (2006). Descripción de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento de imágenes - Fase 1. *Scielo*, 14.

- Diéguez, S. L. (2011). Análisi sde los diferentes métodos de evaluación de la huella plantar. *RETOS. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*.
- Ecured. (2018). *Camara digital*. Obtenido de https://www.ecured.cu/C%C3%A1mara_Digital
- Esqueda Elizondo, J. J. (2002). Fundamentos de procesamiento de imágenes. *Instituto tecnológico de ciudad madero* (págs. 1-50). Ciudad Madero: Conatec.
- F. J., B., D., M., V., B., & J., P. (2016). Digital image processing techniques applied to pressure analysis and morphological features extraction in footprints. *IOPscience*, 11.
- F., P. L., A., G., E., M., & D. S., B. (2016). A Low Cost Baropodometric System for Children's Postural and Gait Analysis. *IEEE*, 4.
- Francis Trombini, S., Ana Paula, R., Denise Hollanda, L., & Vanessa Vilela, M. R. (2009). Correlações entre as estruturas dos membros inferiores. *Scielo*, 6.
- Geert, L., Thijs, K., Babak, E. B., Arnaud Arindra, A. S., Francesco, C., Mohsen, G., . . . Clara I., S. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Elsevier*, 29.
- Héctor Iván Saldívar-Cerón, A. G.-R. (2015). Obesidad infantil: factor de riesgo para desarrollar pie. *Elsevier*, 6.
- Héctor Iván Saldívar-Cerón, A. G.-R. (2015). Obesidad infantil: factor de riesgo para desarrollar pie. *Elsevier*.
- Jiawen, C., Sylvain, P., & Durand, F. (2007). Real-time Edge-Aware Image Processing with the Bilateral Grid. *ACM SIGGRAPH conference proceedings*, 9.
- JONATTAN STEVE, P. T., & ESNEYDER ALFONSO, R. P. (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.

- Jose Antonio Pinto, E. S. (2011). FOOTPRINT STUDY IN CHILDREN DURING THE JACK TEST. *Acta Ortop Bras.*
- José Antonio Pinto, E. S. (2011). FOOTPRINT STUDY IN CHILDREN DURING THE JACK TEST. *Acta Ortop Bras.*, 4.
- L. Navaporn, C. K. (2014). Smart Digital Podoscope for Foot Deformity Assessment. *IEEE.*
- Lessby Gómez Salazar, J. M. (2010). Características de la huella plantar en deportistas colombianos. *Unilibre Cali*, 10.
- Lígia L. Cisneros, T. H. (2010). Inter- and intra-examiner reliability of footprint pattern analysis obtained from diabetics using the Harris Mat. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 6.
- Liubov A., F., Vicent, V., Patricia, M., Francisco, R., & Gumersindo, V. (2014). ParallelCTimagereconstructionbasedonGPUs. *ELSEVIER*, 4.
- MathWorks. (2016). *Matlab-Documentación*. Obtenido de <http://es.mathworks.com/help/images/reducing-the-number-of-colors-in-an-image.html>
- Ner Getia. (junio de 2015). Obtenido de <https://nergetia.com/Blogetia/?p=66>
- Nora La Serna Palomino, U. R. (s.f.). Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes.
- ORTIZ, E. F. (2008). Plantagias Medias. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol*, 28.
- Patrícia A. O. Pezzan, I. C. (2009). Foot posture and classification of the plantar arch among adolescent wearers and non-wearers of high-heeled shoes. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 7.
- Pérez, J. C. (2010). Importancia del análisis de la huella plantar por el profesor . *Efdeportes*.
- Pino, F. (2 de Octubre de 2011). *El espectro visible de la luz*. Obtenido de <http://www.batanga.com/curiosidades/2011/10/02/el-espectro-visible-de-luz>
- Qiang, C., & Chuanjiang, H. (2013). Variational segmentation model for images with intensity inhomogeneity and Poisson noise. *SpringerLink*, 11.

- Ramírez, C. S. (2007). Análisis de dos métodos de evaluación de la huella plantar: índice de Hernández Corvo vs. Arch Index de Cavanagh y Rodgers. 209-215.
- Rodolfo, M. R., Tomas, R., Juan, S. H., Ivan, C. A., Luis, C. M., Carlos, D. G., & Arturo, F. J. (2017). Low Computational-Cost Footprint Deformities Diagnosis Sensor through Angles, Dimensions Analysis and Image Processing Techniques. *Sensors*, 17.
- Rodriguez, H. (2003). *Iniciacion a la imagen digital*. Obtenido de colorpack soluciones para fotografos&diseñadores: http://www.hugorodriguez.com/cursos/curso-idigital_01.htm
- Ruben, M., Ana L., Z. P., & Villie, M. (2017). Footprint Analysis Using a Low Cost Photo-Podoscope. *IEEE*, 6.
- Ryan N., R., Hau, N., Randy P., B., & Robert W., I. (2010). Comparing an FPGA to a Cell for an Image Processing Application. *SpringerLink*, 7.
- Silvia Lara Diéguez, A. J.-L. (2011). Análisis de los diferentes métodos de evaluación de la huella plantar. *RETOS. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 19, 6.
- Universidad Complutense. (Febrero de 2014). *DEFORMIDADES DEL PIE*. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-26-Deformidades-del-pie.pdf>
- Universidad de Sevilla. (s.f.). *segmentacion (II)*. Obtenido de http://asignatura.us.es/imagendigital/Tema5-2_SegmentacionRegionesUmbralizacion.pdf
- Uva. (s.f.). *Umbralización (Thresholding)*. Obtenido de https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/sonificacion/cabroa_archivos/umbralizacion.html
- Visión Fotográfica. (20 de Agosto de 2011). *La resolución de la imagen digital. 300 dpi vs 72 dpi*. Obtenido de <http://www.ecbloguer.com/visionfotografica/?p=1286>
- Vitralba. (s.f.). *Vitralba cristaleria*. Obtenido de <http://www.vitralba.com/vidrio-templado.php>

Yeras, A. M. (2011). Iluminación Estructurada: una Herramienta para el Estudio Morfológico del Pie. *SpringerLink*, 4.