



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Implementación de un sistema de detección automática de la
forma de la planta del pie mediante visión artificial**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

ANDRÉS SEBASTIÁN CALVACHE CASTILLO

LUIS CLAUDIO CARRIÓN CABRERA

Director:

OMAR SANTIAGO ALVARADO CANDO

CUENCA – ECUADOR

2016

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de tesis se le dedica a Dios por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos. A nuestros padres y seres queridos quienes con su apoyo incondicional nos dieron las fuerzas para continuar día a día y poder alcanzar nuestras metas. A la Universidad del Azuay y docentes quienes nos brindaron su conocimiento para desarrollarnos como profesionales además de los valores y principios que nos hicieron mejores personas.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo de tesis es inevitable agradecer a las personas quienes con su apoyo incondicional nos dieron las fuerzas para salir adelante con la culminación de este trabajo, por ello es para nosotros un verdadero placer utilizar este espacio expresándoles nuestros más sinceros agradecimientos.

Debemos agradecer de manera especial a nuestros padres que con su apoyo y cariño nos dieron las facilidades para poder continuar con entusiasmo y empeño nuestro trabajo, a nuestro tutor de tesis el Ing. Omar Alvarado, Mst; quién nos supo guiar en el transcurso de este proyecto y que nos brindó el conocimiento y apoyo en todo lo que necesitábamos. De igual forma se agradece de manera muy cordial al Instituto Casa de la Diabetes y a la Dra. Alexandra Guerrero con quienes contamos para desarrollar nuestro proyecto en sus instalaciones abriéndonos las puertas de su establecimiento para implementar nuestro sistema Podomedbox. A Juan Vinicio Carrión (JVCA) un agradecimiento especial por tener las puertas abiertas para ayudarnos en todo lo que requerimos.

A la empresa Emporio Creativo un agradecimiento especial quienes nos brindaron su apoyo para la construcción y diseño del equipo dándonos facilidades en sus instalaciones y brindándonos sus recursos para los detalles del mismo.

Finalmente, agradecemos a la Universidad del Azuay y al personal docente quienes inculcaron sus vastos conocimientos y sobre todo los principios y valores éticos que debemos guardar en el ejercicio profesional y en el servicio a la comunidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 La podología.....	2
1.2 Deformaciones plantares	2
1.3 Tipos de las deformaciones del pie	4
1.3.1 Pie equino	5
1.3.2 Pie varo	7
1.3.3 Pie cavo.....	9
1.3.4 Pie plano	13
1.3.5 Imágenes médicas.....	18
1.3.6 Visión por computador	19
1.3.7 Segmentación	19
1.3.7.1 Segmentación por umbral	20
1.3.7.2 Segmentación morfológica	20
1.4 Estado del arte	20
1.5 Técnicas de diagnóstico	22
1.5.1 El método de Hernández – Corvo.....	22

1.5.2	Índice del arco.....	23
-------	----------------------	----

CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO PODOMEDBOX26

2.1	Diseño mecánico del equipo	26
2.2	Propiedades generales del vidrio templado.....	28
2.2.1	Características del vidrio templado según fabricante.....	29
2.2.2	Resistencia y pesos que soporta el vidrio templado utilizado.....	30
	Resistencia a la compresión	30
	Módulo de rotura para	30
	Módulo de trabajo para:	30
2.3	Propiedades de la cámara y su enfoque.....	31
2.3.1	Webcam hd de 720p con autofocus	32
2.3.1.1	Características	32
2.4	Iluminación	33
2.5	Consumo de energía de cada elemento	34
2.5.1	Consumo de energía del sistema	35
2.6	Esquemas de conexión	35

CAPÍTULO 3: FUNCIONAMIENTO Y PROPIEDADES DEL SISTEMA UTILIZADO.....37

1.1	Funcionamiento del sistema implementado.....	37
1.2	Descripción de cada uno de los paneles gráficos programados	39
1.3	Descripción de la programación del sistema.....	43
1.4	Diagramas de flujo del funcionamiento del sistema implementado	63
1.5	Ventajas y desventajas del sistema implementado.....	64
1.6	Análisis de concordancia de resultados entre el método con el pedígrafo y el sistema podomedbox.....	66
1.7	Datos obtenidos de la validación de pacientes.....	68

Caso especial	75
OTROS EJEMPLOS DE ANALISIS:	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Deformaciones del pie.	3
Figura 1.2: Partes del pie.....	4
Figura 1.3. Pie equino	5
Figura 1.4. Tratamiento del pie equino del Dr. Ponsetí	6
Figura 1.5. Pie Varo.	7
Figura 1.6. Botas de tratamiento en el método Ponsetí.....	9
Figura 1.7. Pie cavo.....	10
Figura 1.8. Pie Plano.	13
Figura 1.9. Segmentación de la planta del pie por el método Hernández Corvo	23
Figura 1.10a. Puntos de segmentación.....	25
Figura 1.10b. Ecuación de índice de deformación.....	25
Figura 2.1a. Estructura metálica de ½ pulgada con alucubond.....	28
Figura 2.1b. Podomedbox finalizado	28
Figura 2.2. WebCAM.....	33
Figura 2.3a. Módulo de 3 LEDs.....	34
Figura 2.3b. Tira de LEDs de 5m (luz verde)	34
Figura 2.4a. Conexión con interruptor normalmente abierto	35
Figura 2.4b. Conexión con interruptor normalmente cerrado	36
Figura 2.5. Esquema general de la conexión.....	36
Figura 3.1. Podomedbox encendido listo para usarse.	38
Figura 3.2. Procedimiento del paciente para el inicio del examen.....	38
Figura 3.3. Panel de ficha médica.	39
Figura 3.4. Panel de la cámara.	40
Figura 3.5. Panel de análisis automático.	41
Figura 3.6. Panel de configuración.	42
Figura 3.7. Panel de análisis manual.....	43
Figura 3.8. Variable local y valores predeterminados.....	43
Figura 3.9. Formato de la imagen.	44

Figura 3.10. Estructura While Loop.....	44
Figura 3.11. Programación Ficha médica.	45
Figura 3.12. Entrada de datos.....	45
Figura 3.13. Ingreso de medidas.	46
Figura 3.14. Registro de datos.....	46
Figura 3.15. Borrar campos.....	47
Figura 3.16. Mostrar ayuda.	47
Figura 3.17. Guardado en Excel.....	48
Figura 3.18. Navegación por botones.	48
Figura 3.19. Programación Cámara.	49
Figura 3.20. Acceso y configuración cámara.....	49
Figura 3.21. Adquisición de imagen.	50
Figura 3.22. Guardar imagen.	50
Figura 3.23. Navegación.	51
Figura 3.24. Análisis automático de la imagen.	51
Figura 3.25. Selección del archivo.....	52
Figura 3.26. Procesamiento de imagen.	52
Figura 3.27. Fórmulas para la operación de dilatación.....	53
Figura 3.28. Elementos de estructura de 3, 5, 7 y 15.....	54
Figura 3.29. Fórmula para la operación de erosión.....	54
Figura 3.30. Fórmula de dualidad entre las operaciones dilatación y erosión.	54
Figura 3.31. Obtención de medidas en pixeles.	55
Figura 3.32a. Clamp max.....	56
Figura 3.32b. Error.....	56
Figura 3.33. Cálculo del índice de la forma plantar.....	57
Figura 3.34a. Clamp Horizontal Max.	58
Figura 3.34b. Línea de búsqueda.	58
Figura 3.35. Operaciones matemáticas.	59
Figura 3.36. Resultados.....	59
Figura 3.37. Análisis HC.....	60
Figura 3.38. Configuración del sistema.	61

Figura 3.39. Método manual.	62
Figura 3.40. Selección de puntos, manual.....	62
Figura 3.41a. Pedígrafo y sus elementos.....	64
Figura 3.41b. Pruebas con el pedígrafo.....	65
Figura 3.42a. Muestra tomada con el pedigrafo.....	67
Figura 3.42b. Muestra tomada por el podomedbox	67
Figura 3.43a. Captura de la imagen de la planta del pie.	70
Figura 3.43b. Análisis Automático de la planta del pie y determinación del área del metatarso.	70
Figura 3.44a. Captura de la imagen de la planta del pie	72
Figura 3.44b. Análisis automático de la planta del pie y determinación del área del metatarso.	72
Figura 3.45a. Captura de imagen de la planta del pie	74
Figura 3.45b. Análisis automático de la planta del pie y determinación del área del metatarso.	74
Figura 3.46a. Captura de la imagen de la planta del pie	75
Figura 3.46b. Análisis automático del sistema y detección de la deformación plantar ..	76
Figura 3.47a. Captura de la bóveda plantar del pie de una paciente.	77
Figura 3.47b. Análisis de la deformación plantar.	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Índice de deformación.....	24
Tabla 2.1 Especificaciones de grosor y peso del alucobond.....	27
Tabla 2.2 Especificaciones de consumo de energía de los elementos utilizados.....	34
Tabla 3.1. Diagrama de flujo del procedimiento para realizar el examen médico.....	63
Tabla 3.2. Diagrama del flujo del funcionamiento del sistema de adquisición podomedbox.....	63
Tabla 3.3. Ventajas y desventajas del pedígrafo.....	65
Tabla 3.4. Ventajas y desventajas del equipo podomedbox.....	66
Tabla 3.5. Porcentajes según la deformación plantar.....	68
Tabla 3.6. Ficha médica 1:.....	69
Tabla 3.7. Ficha médica 2.....	71
Tabla 3.8. Ficha médica 3:.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

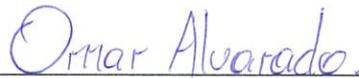
Anexo 1: Muestras tomadas con manchas por el pedígrafo.....	84
Anexo 2. Muestra mal tomada por el podomedbox	85

RESUMEN

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE LA FORMA DE LA PLANTA DEL PIE MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”

El trabajo trata de identificar de forma automática las diferentes deformaciones plantares del pie como son: pie plano, pie cavo y el pie normal junto con sus diferentes grados de deformación plantar mediante un sistema de visión artificial realizado en la plataforma de LabView. Para la validación de los resultados se tomó 50 muestras de pacientes en el Instituto Casa de la Diabetes los mismos que fueron evaluados por el método Hernández – Corvo, dando como eficacia del equipo un 95.84%

Palabras Claves: Detección plantar, visión artificial, podología, método Hernández – Corvo.



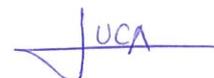
Omar Santiago Alvarado Cando
Director del Trabajo de Titulación



Hugo Marcelo Torres Salamea
Director de Escuela



Andrés Sebastián Calvache Castillo



Luis Claudio Carrión Cabrera

Autores

"IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC DETECTION SYSTEM OF THE FOOT SOLE SHAPE THROUGH ARTIFICIAL VISION"

ABSTRACT

The paper deals with the automatic identification of the different plantar foot deformities such as: flat foot, pes cavus, and normal foot and their different degrees of plantar foot deformation carried out through an artificial vision system performed in LabView platform. For the validation of results, 50 samples from patients attended at *Casa de la Diabetes* Institute were taken and evaluated by the Hernandez - Corvo method: evidencing a 95.84% effectiveness obtained through the equipment use.

Keywords: Plantar Detection, Artificial Vision, Podiatry, Hernandez -Corvo Method.



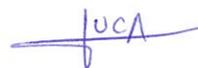
Omar Santiago Alvarado Cando
Thesis Director



Hugo Marcelo Torres Salamea
School Director

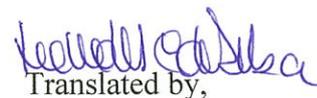


Andrés Sebastián Calvache Castillo



Luis Claudio Carrión Cabrera

Authors



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Calvache Castillo Andrés Sebastián

Carrión Cabrera Luis Claudio

Trabajo de Titulación

Ing. Omar Santiago Alvarado Cando, Mst.

Julio, 2016

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE LA FORMA DE LA PLANTA DEL PIE MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

INTRODUCCIÓN

La deformación de la planta del pie es una afección que la mayoría de las personas poseen (Coto, 2003), esto les afecta directamente a su vida cotidiana, ya que influye en el caminar y puede causar dolores en diferentes partes del cuerpo como pueden ser las rodillas, zona lumbar, tobillos, etc. En este proyecto se tratará las diferentes deformaciones plantares que se puede tener con su respectivo método para su diagnóstico y sobretodo tener en cuenta cómo va evolucionando el grado de afección de acuerdo a la edad del paciente. Hay que recalcar que en la mayoría de los casos no se pueden prevenir estos tipos de deformaciones, siendo necesario un análisis de forma sencilla, rápida y precisa para detectar estas anomalías (Mery, 2002).

El equipo que se implementará toma el nombre de Podomedbox, el mismo que será construido por una estructura metálica con una plataforma de vidrio donde los pacientes se podrán parar con toda seguridad para realizarse el examen respectivo. El sistema de programación se realizará en la plataforma de LabView mismo que será de fácil uso para la persona que lo utilice.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se investigará la rama de la podología y los beneficios que ésta tiene con los pacientes, además, se abarcará con el estudio de las diferentes deformaciones plantares tanto en niños como adultos para analizar sus causas y el tratamiento respectivo para cada caso de deformación plantar.

1.1 La podología

Es una rama de la medicina que tiene por objeto el estudio, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades y alteraciones que afectan el pie. La podología también se encarga de diseñar y desarrollar aquellos soportes plantillas que algunas personas necesitan emplear en la planta del pie para mejorar su postura o para que su andar sea saludable. El experto en podología puede encargarse del tratamiento de múltiples afecciones siempre que la acción no requiera de una cirugía compleja. En ocasiones, el especialista en podología debe derivar a su paciente a otros profesionales ya que el trastorno advertido en los pies es una consecuencia o un síntoma de una enfermedad o de una afección que surge en otra zona del organismo. De esta manera, el podólogo puede advertir que su paciente posiblemente sufra de diabetes o reumatismo, por ejemplo, derivando su tratamiento integral a otro experto. (Chitsakul & Laowattanatham, 2014)

1.2 Deformaciones plantares

El pie es el encargado de soportar todo el peso del cuerpo y ayuda a la propulsión y amortiguación durante la marcha y la carrera. Por esas funciones el pie tiene mucha importancia en la estética, estática y dinámica del cuerpo. Como se puede apreciar en la

figura 1 se tiene las diferentes deformaciones del pie entre las más conocidas el pie plano, pie cavo, entre otras. Además, se tiene las vistas del pie de diferentes perspectivas y las deformaciones de los dedos respectivamente. (runner, 2015)



Figura 1.1 Deformaciones del pie.
Fuente: (runner, 2015)

En la postura normal el pie tiene 26 piezas óseas, sin tener en cuenta los pequeños sesamoides; 14 constituyen los dedos (falange proximal, medio y distal), 7 el tarso y 5 el metatarso. La cara anterior del pie es cóncava de delante hacia detrás, al igual que los metatarsianos y cuñas formando una concavidad a lo que se le llama bóveda plantar, característica específica más importante del pie humano que le falta al resto de los animales de escalas inferiores. En el pie normal se apoya el esqueleto en el suelo por la parte posterior del calcáneo y las extremidades anteriores de los metatarsianos del 1ro al 5to. En la figura 1.2 se muestra las partes del pie en su totalidad dando a conocer el número de huesos, articulaciones, músculos, ligamentos y tendones los cuales cumplen un papel muy importante al momento de caminar. (Gonzales, 2014)

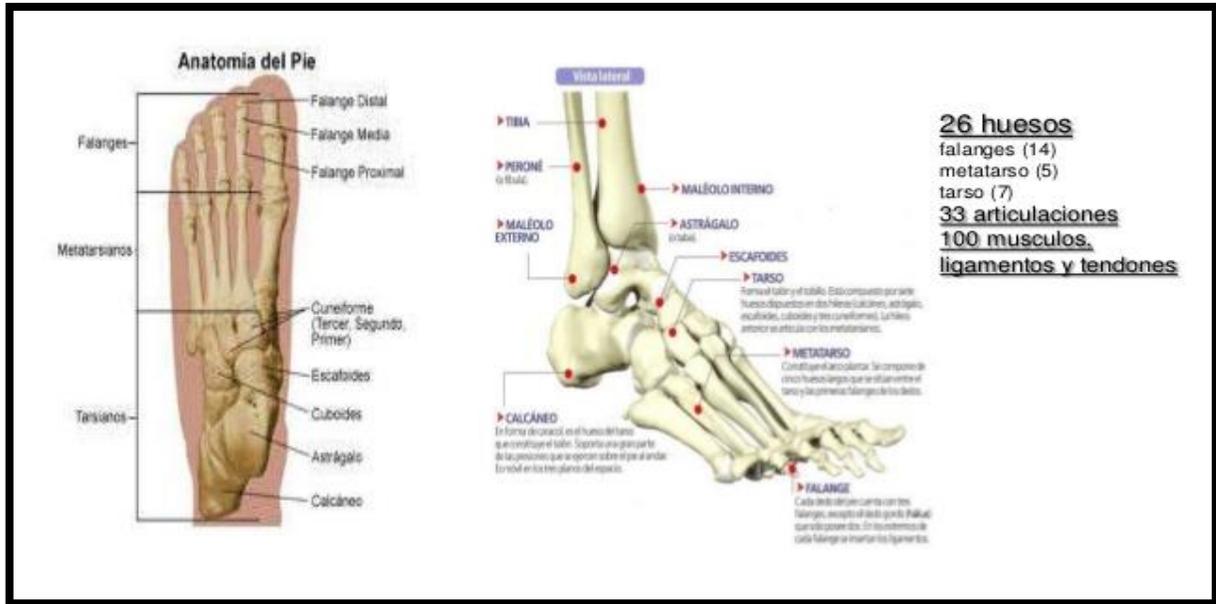


Figura 1.2: Partes del pie
Fuente: (Gonzales, 2014).

1.3 Tipos de las deformaciones del pie

A pesar de la evolución que sufre el pie, después del nacimiento hay tres edades durante la vida donde se puede desarrollar con más frecuencia las deformidades del pie, aunque también pueden presentarse en los intervalos entre estas edades, que son:

- Desde el nacimiento hasta los 2 años.
- Durante la Adolescencia.
- En la Edad Senil. (A partir de los 60 años en ambos sexos) (Fontecha D. C., 2013)

1.3.1 Pie equino

Se llama pie equino a una deformidad del pie humano en la que éste se encuentra permanentemente en una posición de flexión plantar, en aducción e inversión y el retropié en varo con el hueso del tarso calcáneo invertido por lo que el paciente afectado cuando camina apoya la región anterior del pie (marcha de puntillas) y el talón no entra en contacto con el suelo (figura 1.3). Las características del pie equino es que los pies se encuentran en flexión plantar y hay una distensión del tibial anterior y del extensor común de los dedos. Hay que recalcar que hay la existencia de un acortamiento del tricep sural y también ligamentos peroneoastagalio y deltoideo de fibras anteriores distendidos. El apoyo se realiza en el metatarso. (Fontecha D. C., 2013)



Figura 1.3. Pie equino

Fuente: (Fontecha D. C., 2013)

Las principales causas por las que se produce este tipo de deformación son:

- Utilización de calzado con tacón alto.
- Por parálisis o lesión del nervio ciático poplíteo externo que va a provocar la pérdida de la tonicidad en el músculo tibial anterior. (Fontecha D. C., Traumatología Infantil, 2004)

Tratamiento

El tratamiento a seguir es recomendado empezar en los primeros días de vida, colocando unos yesos correctivos. Cuando el niño es pequeño sus huesos tienen mucha plasticidad y capacidad de remodelación, por lo que tras la colocación de varios yesos aplicando una corrección progresiva podremos llegar a obtener un pie prácticamente normal. El tratamiento, preconizado por el Dr. Ponseti, consiste en la realización de manipulaciones suaves hasta obtener la mejor alineación posible y mantener esta posición con el vendaje de yeso (Fig. 1.4). Esta pauta se repite cada semana hasta lograr la corrección completa. Es fundamental la correcta limpieza y conservación de dichos yesos para que el bebé esté lo más cómodo posible. En general, entre 3 y 5 cambios de yeso se consigue la corrección completa de la deformidad excepto la posición en puntillas. En este punto se debe realizar una pequeña intervención la cual consiste en un alargamiento percutáneo del tendón de Aquiles, se realiza con anestesia local y no precisa ingreso hospitalario. Inmediatamente después se coloca un último yeso en la postura de máxima corrección, que se deja entre dos y tres semanas. (Fontecha D. C., Traumatología Infantil, 2004)



Figura 1.4. Tratamiento del pie equino del Dr. Ponseti.

Fuente: (Fontecha D. C., 2013)

Los objetivos del tratamiento son:

- Normalizar el apoyo.
- Fortalecer el músculo tibial anterior y del extensor común de los dedos.
- Fortalecer Ligamentos peroneoastragalino y deltoideo fibras anteriores.
- Relajar tríceps sural. (Fontecha D. C., 2013)

1.3.2 Pie varo

El pie varo es el que presenta en la planta del pie una orientación hacia dentro, normalmente, va asociado a una lateralización de las piernas y de las rodillas. Las características principales del pie varo son que los pies están en rotación interna y pueden o no estar en supinación, es decir, en una inversión. Las puntas de los pies se acercan a la línea media, además existe una distinción del músculo peroneo lateral largo, del corto e incluso puede haber la distinción de ambos. Hay que recalcar que se presenta un acortamiento de los músculos tibiales anterior y posterior y el apoyo es en el borde externo y en los últimos dedos tanto en el anular y en el meñique. (ORTOIBERICA, 2015)

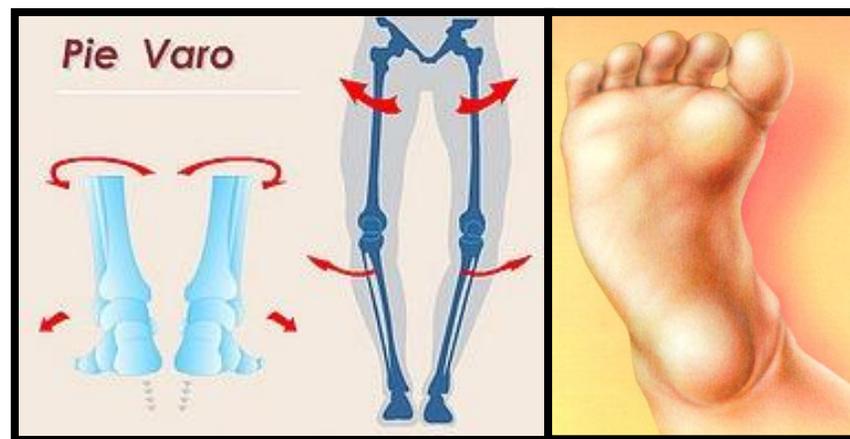


Figura 1.5. Pie Varo.

Fuente: (Costa Comunicaciones, 2007)

Las causas por las que se da este tipo de deformación son:

- Por parálisis de los músculos peroneos.
- Por estar las cavidades cotiloideas muy unidas o por tener dichas cavidades mucha profundidad.

Tratamiento del pie varo (método Ponseti)

Este método consiste en el mantenimiento de la corrección durante un tiempo completo (23 o 24 horas al día) usando un entablillado o enyesado muy ligero, que debe renovarse regularmente; al finalizar el tratamiento con yesos; se continua con unas férulas de refuerzo (figura 1.6) que se utilizarán únicamente durante la noche hasta los 4½ ó 5 años de edad, para evitar recidivas (siendo los tiempos muy elásticos y dependiendo en todo caso de la evaluación del paciente y del criterio del médico especialista). Aproximadamente un 80% de los infantes requieren la aplicación de una tenotomía percutánea, que es una incisión muy pequeña en el tendón de Aquiles , que se practica una vez terminada la colocación de los yesos correctivos a las 6 o 9 semanas de nacimiento y no suele dejar ni una mínima señal en la piel del bebé. Aproximadamente el 25% de los infantes tratados con éste método requieren una intervención quirúrgica de tendón después de los 2 años de edad. Mientras que ello requiere el uso de anestesia general, es relativamente una cirugía menor que corrige el desbalance muscular persistente evitando alterar las uniones del pie. El método Ponsetí es exitoso en la corrección del pie equinovaro, sin recurrir a la cirugía correctiva en un 95% hasta 99% de los casos, o al menos usándola mínimamente cuando es practicado por un médico experimentado en el método en el transcurso de 12 semanas, aunque puede extenderse un poco más o menos, según criterio del médico especialista tras evaluar al niño. A largo plazo, el aspecto físico de un niño que ha sido sometido a este tratamiento es comparable al de uno que no ha sido afectado por este padecimiento. Los niños caminan y hacen deporte como otros de la misma edad. (wikipedia, 2015)



Figura 1.6. Botas de tratamiento en el método Ponsetí.

Fuente: (wikipedia, 2015)

Objetivo del tratamiento para el pie varo:

- Normalizar el apoyo.
- Fortalecer los músculos peroneos lateral largo y corto.
- Disminuir el tono de los músculos tibiales anterior y posterior.
- Fortalecer el ligamento peroneoastragalino posterior.
- Debilitar el ligamento peronocalcáneo. (wikipedia, 2015)

1.3.3 Pie cavo

La deformidad en el pie cavo consiste en una elevación anómala de la bóveda de la planta del pie (Figura 1.7). “El pie cavo es una alteración estructural que produce un arco plantar más elevado de lo normal”, según Javier Torralba Estellés, presidente de la Asociación Española de Cirugía Podológica. Los dedos pueden quedarse agarrotados o flexionados hacia dentro, lo que disminuye el tamaño del pie. El pie cavo es bastante frecuente entre la población general, aunque en sus formas más leves. Estos casos de pie ligeramente cavo no tienen por qué recibir un tratamiento específico, siempre que no ocasionen molestias ni dificulten la marcha. La edad de presentación

está entre los ocho y doce años, aunque en ocasiones un paciente puede presentar el primer dedo en el nacimiento. Entre sus características más relevante tenemos: arcos longitudinales que están muy elevados, distensión de los músculos tríceps (sural sole), gemelos y del tendón de Aquiles, Los músculos flexores desplazan el calcáneo hacia adelante y el astrálogo se dorsiflexiona. (DMEDICINA, 2015)

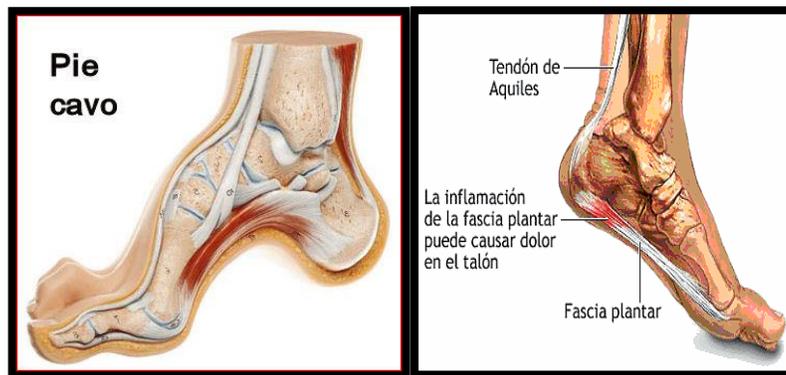


Figura 1.7. Pie cavo.

Fuente: (Podológico, 2014)

Causas

Las causas por las cuales se presenta este tipo de deformación es por la relación de una enfermedad neurológica. Según Torralba, “existe una alta posibilidad de que esta alteración se produzca por una afectación neuromuscular”, razón por lo cual es de gran importancia que el paciente con pies cavos acuda a un especialista para que éste determine el origen exacto de su problema. También hay ocasiones en las que la causa es idiopática, pues el aumento de la bóveda plantar se presenta sin una causa que lo justifique. Por otro lado, los especialistas afirman que esta afección tiene una alta frecuencia familiar, aunque no se ha podido identificar una transmisión hereditaria real. (DMEDICINA, 2015)

Tipología

Existen dos tipos de pies cavos:

- **Pie cavo posterior o calcáneo-varo:** Tipo de pies cavos en los que predomina la caída del talón.
- **Pie cavo anterior:** Caso más frecuente en el que destaca la verticalización o caída los metatarsianos y que suele asociarse a los dedos en garra. También pueden presentarse en formas mixtas. (DMEDICINA, 2015)

Tratamientos

Los pies cavos presentan muy pocas molestias y no suelen alterar significativamente la marcha, salvo aquellos que presentan una causa neurológica. Por ello, el objetivo principal del tratamiento es el alivio de los síntomas que presente el paciente. “El tratamiento fundamental consiste en la utilización de plantillas ortopédicas a medida adaptadas por un podólogo”, según Torralba. (DMEDICINA, 2015)

En general, se recomienda el uso de zapatos cómodos, flexibles y anchos, sobre todo en la puntera, para permitir movilidad en los dedos y aplicación de fisioterapia. Algunos fisioterapeutas recomiendan la realización de masoterapia¹ para preparar al pie con algunos de los siguientes ejercicios recomendados para aquellos que sufran un dolor persistente en el pie: (Fontecha D. C., 2013)

¹ **Masoterapia:** Uso de distintas técnicas de masaje con fines terapéuticos, esto es, para el tratamiento de enfermedades y lesiones.

- Caminar descalzo sobre suelo duro.
 - Subir una superficie con pendiente apoyando primero el talón.
 - Bajar una superficie con pendiente de espaldas apoyando primero el talón.
- (Fontecha D. C., 2013)

Según expertos, algunos casos de pies cavos severos exigen cirugía reconstructiva. Ramón Viladot, presidente de la Escuela del Pie de la Sociedad Española de Reumatología, recuerda que “los pies cavos asintomáticos, aquellos que no presentan dolor o molestia, no deben tratarse con cirugía y, en todo caso, hay que esperar a que el pie crezca y se desarrolle completamente”. (Fontecha D. C., 2013)

Prevención

Según el especialista, aunque no existe una prevención eficaz contra el pie cavo, los ejercicios de estiramiento podrían contribuir a evitar su aparición. Algunos de los ejercicios más adecuados para el estiramiento de la fascia o bóveda plantar son los siguientes: (ORTOIBERICA, 2015)

- Apoyar la punta del pie en el extremo de un escalón y bajar lentamente los talones manteniendo la tensión durante 30 segundos.
 - Colocar los brazos extendidos sobre una pared, mantener una pierna extendida hacia delante y otra hacia atrás formando un ángulo de 45 grados y mantener la tensión durante 30 segundos.
 - Rodar una lata fría con el pie y repetir el movimiento de 30 a 50 veces.
 - Fraccionar hacia atrás los dedos del pie estirando la planta y mantener la tensión durante 30 segundos doblando y estirando sucesivamente la rodilla. Es recomendable colocar el pie sobre una toalla e intentar arrugarla con los dedos.
- (ORTOIBERICA, 2015)

1.3.4 Pie plano

Casi todos los pies planos, independientemente de la etiología de la deformidad, tienen sus deformidades iguales (a diferencia de los cavos, que según el origen la malformación es diferente). En personas con el pie plano (figura 1.8) el talón se va hacia afuera. (bienestar, 2015)

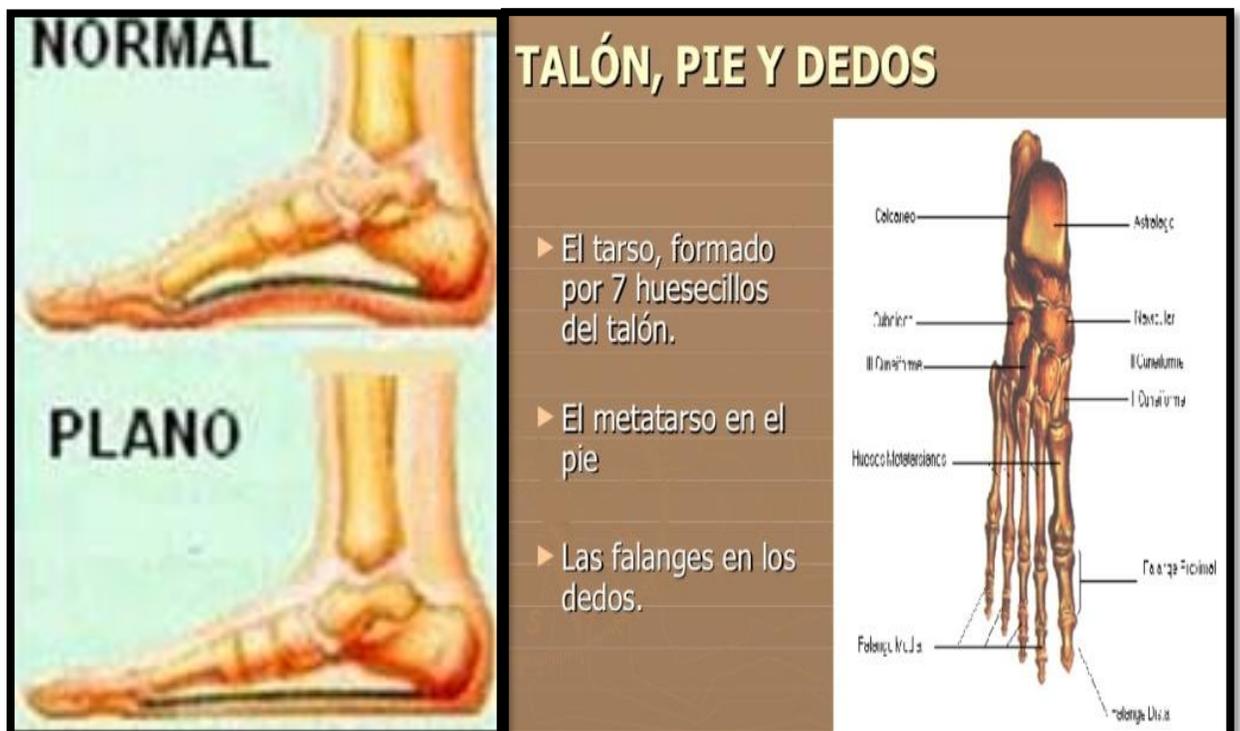


Figura 1.8. Pie Plano.
Fuente: (bienestar, 2015)

Alteraciones óseas del pie plano:

a) Malformaciones congénitas:

- **Astrágalo Vertical:** Hay una luxación rígida de la articulación astrágalo-escafoidea ² que produce deformidad, dolor, rigidez, convexidad plantar (el pie no es que esté plano, está convexo) lo llaman pie en mecedora, requiere tratamiento quirúrgico.
- **Sinóstosis Óseas:** Se forman puentes y fusiones entre los huesos; entre calcáneo y astrágalo (lo más frecuente), y calcáneo y escafoides. Cursa con retracción tendinosa y dolor subastragalino³. En ocasiones, no son sinóstosis sino sincondrosis⁴.
- **Escafoides Supernumerarios:** Hay más de un escafoides, lo que condiciona que a veces el tendón del tibial posterior se inserta en el escafoides supranumerario en vez de en el original, generando así

² **Astrágalo-Escafoides:** Articulación forma una semicircunferencia prolongada por la cápsula y los ligamentos de refuerzo. La cabeza del astrágalo es un segmento de esfera que se corresponde perfectamente con la concavidad del escafoides.

³ **Subastragalina:** Articulación del pie que se localiza por debajo del tobillo, entre los huesos astrágalo y calcáneo. La región más afectada por la artrosis es la subastragalina posterior. Favorecen la rotación y el giro del pie con respecto al tobillo, favoreciendo el caminar por sitios irregulares y adaptarse mejor a cualquier terreno.

⁴ **Sincondrosis:** También reconocidas como articulaciones cartilaginosas primarias (ya que es una unión temporal entre los huesos), las sincondrosis son articulaciones temporales que existen durante la fase de crecimiento del esqueleto y están compuestas de cartílago hialino.

insuficiencia del mismo. El tratamiento es la resección del hueso supernumerario. (bienestar, 2015)

b) Alteraciones cápsulo - ligeramentosas:

- Pie plano laxo o infantil: Laxitud, lo que provoca deformidad.
- Pie plano por alteración endócrina: Típico de mujeres, suele haber obesidad y laxitud.
- Pie plano en la artritis reumatoide: La enfermedad también altera los ligamentos. (bienestar, 2015)

c) Alteraciones neuromusculares:

- Disfunción del músculo tibial posterior: El músculo tibial posterior mantiene la bóveda plantar; cuando falla, como por ejemplo en casos de inflamación de este tendón o degeneraciones de este tendón, puede darse pie plano.
- Retracción del tendón de Aquiles.
- Poliomielitis y parálisis espástica. (bienestar, 2015)

Anatomía patológica del pie plano

Es similar en todos los pies planos. Se caracteriza por:

- Disminución de la altura de la bóveda plantar y valgo de talón.

A nivel del retropié hay:

- Desplazamiento del astrágalo hacia abajo, adelante y adentro.
- Valgo del talón.

- Lesiones del músculo tibial posterior (paratendinitis, engrosamiento, tendinosis y rotura). Estas lesiones se observan en deportistas, por insuficiencia del músculo tibial posterior.

A nivel del antepie hay:

- Supinación y abducción. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)

Análisis Clínico

Dolor, deformidad y/o alteración de la marcha (predominio de uno u otro según el tipo).

- 1) Pie plano laxo infantil: Es el más frecuente, se da en niños de 3 a 10 años. Cursa con deformidad, alteración de la marcha y pocas veces dolor. Esta alteración se debe a la laxitud del músculo tibial posterior, ligamento interóseo entre astrágalo y calcáneo, y el calcáneo escafoideo principalmente. Hay que valorar la reductibilidad, ya que suelen reducirse fácilmente con maniobras médicas pidiéndole al paciente que se ponga de puntillas o elevando pasivamente el dedo gordo que se intuye en la bóveda plantar). El tratamiento casi siempre es conservador, sólo del 1 al 5% de los niños requieren tratamiento quirúrgico. Hasta los 3 a 4 años, todos los niños tienen aparentemente pie plano, esto se debe a la grasa existente a nivel de la bóveda plantar, pero realmente no es un pie plano. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)
- 2) Pie plano del adulto: Suele ser residual o por una artritis reumatoide. El dolor es lo más relevante.

3) Pie plano secundario a disfunción del músculo tibial posterior:

- Paratendinitis: Signos de inflamación, requerirá tratamiento médico.
- Tendinosis: Hay un valgo del retropie reducible, utiliza tratamiento con ortesis.
- Rotura: Valgo estructurado, tratamiento quirúrgico mediante cirugía de transferencia de tendones. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)

Grados de afección del pie plano

- 1) Afectación Muscular.
- 2) Afectación Muscular, Articular y Ligamentosa.
- 3) Afectación Muscular, Articular, Ligamentosa, Ósea y Nerviosa. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)

Tratamiento

Nunca debe hacerse contención con botas rígidas que inmovilicen el tobillo. Lo recomendable es usar un zapato flexible, de punta ancha (para que los dedos se puedan mover) y talón rígido (corrige el valgo de talón). A veces hay que recurrir a las plantillas (nunca antes de los 4 años), las cuales se deben confeccionar con moldes de la bóveda plantar del paciente. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)

Objetivo del tratamiento de primer grado

- Lograr la estática del pie.
- Fortalecer los músculos en general del pie en especial a los que en su tonicidad mantienen el arco.
- Reeduación de la marcha.

- Evitar la progresión de la deformidad. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)

Objetivo del tratamiento de segundo grado

- Flexibilizar o fortalecer los músculos que conforman el arco.
- Aliviar dolores si existen.
- Lograr la normalización de las articulaciones que conforman el pie.
- Reeducación de la marcha.
- Evitar la progresión de la deformidad. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)

Objetivo del tratamiento de tercer grado

- Aliviar el dolor.
- Eliminar la rigidez del pie.
- Mejorar la circulación local. (Fontecha D. C., traumatología infantil, 2012)

1.3.5 Imágenes médicas

Para la medicina es de suma importancia hacer diagnósticos a través de imágenes, ya que son un medio no invasivo pero efectivo de conocer la anatomía del paciente, se han vuelto un componente crítico en la planificación de diagnósticos y tratamientos, además han incrementado el conocimiento de anatomías y patologías.

Gracias al número de imágenes ha sido necesario el uso del computador para el procesamiento de estas. Son de suma importancia los algoritmos de segmentación para poder delimitar ciertas regiones de interés. (Coto, 2003)

1.3.6 Visión por computador

Es una herramienta que nos permite relacionar el mundo tridimensional y sus vistas bidimensionales que se pueden tomar, también se puede reconstruir el espacio tridimensional por medio de una cantidad suficiente de vistas bidimensionales, con lo que se podrá realizar diferentes proyecciones con lo que se pueden tener diferentes escenas tridimensionales. (Mery, 2002)

1.3.7 Segmentación

“Una imagen es una colección de valores en el espacio bidimensional (2D) o tridimensional (3D)”. Se puede tener imágenes escalares o vectores/multicanales, las escalares son el resultado de una medida para cada posición, pero si se hace más de una medida entonces es una imagen vector (Coto, 2003). La segmentación consiste en partir una imagen de entrada en sus partes constituyentes siendo esta etapa una de las más difíciles, pues un procedimiento de segmentación mal realizado garantiza que tarde o temprano habrá un fallo. La segmentación busca destacar el objeto en estudio ROI (Region Of Interest) sobre el fondo de la imagen, desechando la información sin utilidad, para posteriormente aplicar las herramientas necesarias para el análisis del objeto destacado. La segmentación debería aislar el mayor número posible de anomalías, aunque entre las ROIS se encuentren regiones correspondientes a tejido sano (falsos positivos) (Bayas, 2015).

Como es de esperar la segmentación es un campo muy estudiado con lo cual se han propuesto diferentes técnicas, como las siguientes: (Bayas, 2015).

- Segmentación por detección de regiones.
- Umbralización Simple.
- Binarización.
- Dilatación.

- Erosión.
- Apertura.

Con estas técnicas se ha podido realizar diferentes métodos de segmentación, los más utilizados son por umbral y morfológica. (Bayas, 2015).

1.3.7.1 Segmentación por umbral

Este proceso se encarga de segmentar una imagen en base al nivel de luminosidad o color de los píxeles. Debido a su simplicidad es uno de los métodos más usados, el resultado de este proceso es una imagen binaria, se asigna uno a uno los píxeles de interés y cero al fondo o demás regiones que no son de interés. (Lenin Edwin Gordillo Erazo, 2009).

1.3.7.2 Segmentación morfológica

Se divide la imagen en base a su topografía, se usa cuando los objetos se traslapan o tienen diferentes tonalidades que no permiten distinguirlos del fondo, siendo el proceso más significativo de este método el utilizar líneas divisoras de agua (Lenin Edwin Gordillo Erazo, 2009).

1.4 Estado del arte

Pese a su corta evolución, la podología es una profesión con plena autonomía técnica y científica, pero en la actualidad no se tiene mayor cobertura con respecto a centros existentes y a plazas de estudio disponibles en los mismos, se ha podido investigar que en proyectos realizados como el del año 2009 del Atlas de Dermatología del pie cuyo autor menciona que la podología en España se contaba con 13 centros universitarios que imparten esta titulación. Como referencia se tiene que en el año 2009 en España de

un total de 631.748 médicos profesionales, solo 5.263 eran podólogos, es decir un 0,83% (González-Vallarino, 2010) (Peña, 2007).

En la publicación indexada Smart digital “Podoscope for Foot Deformity Assessment” en el año 2014 se realizó un diseño de podoscopio digital el cual fue construido sobre escáneres ópticos comerciales, siendo el sistema más pequeño que el basado en la cámara. El sistema fue probado con veinticinco participantes que han sido diagnosticados con anormalidad del pie. (Chitsakul & Laowattanatham, 2014)

En la actualidad la podología cuenta con diversos métodos de visualización de las partes del pie, los cuales varían por su complejidad y calidad de resultados, estos exámenes van desde los más generales como son tomografías computarizadas, radiografías y resonancias magnéticas, hasta los más puntuales como la podometría, que consiste en el análisis de la huella plantar, contando con diferentes técnicas, unas básicas como usar pintura en los pies o agua y caminar en una lámina de papel, y otras más avanzadas como podoscopios de espejos o aún mejores como los podoscopios digitales. También se tiene la baropodometría la cual consiste en hacer el análisis de distribución de presiones aplicadas sobre la planta del pie, para esto se requiere estrictamente un baropodómetro eléctrico. En la publicación “Biofeedback Baropodometry Training Evaluation: A Study with Children with Equinus Foot Deformity” del año 2013 se construyó un dispositivo portátil, el baropodómetro, con el cual se ayudó a corregir el equilibrio y la postura midiendo la presión del antepie y retropie (E., 2007) (Gomes & Scremim, 2013)

Los podómetros en la actualidad se cuentan con los cualitativos y los cuantitativos. Los cualitativos son más económicos teniendo en si diferentes técnicas, el más eficaz es el podoscopio, teniendo diagnósticos variantes ya que depende de la experiencia del médico. En los cuantitativos la electrónica juega un papel muy importante, estos

presentan resultados numéricos repetibles, además aprovechan las ventajas de la electrónica moderna para obtener y almacenar la información para su posterior análisis. En México, los podómetros más usados por los especialistas son los cualitativos gracias a que son económicos y se encuentran disponibles en el mercado nacional. (Alexandra La Cruz, 2014) (Herrera, 2003).

1.5 Técnicas de diagnóstico

Se tienen diferentes técnicas que abarcan desde las más simples como son las huellas con pintura hasta las más complejas como la segmentación digitalizada.

En el estudio “PREVALENCIA DEL PIE PLANO EN NIÑOS Y NIÑAS EN LAS EDADES DE 9 A 12 AÑOS” se usaron hojas de papel tamaño legal, con peso de 80gr y un brillo de 80%. El tipo de pintura utilizada, fue adquirido en una ferretería común, su color era verde claro sin brillo, su consistencia era vinílica. La aplicación de la pintura, se hizo mediante una brocha común de 3 pulgadas. (Fresno, 2013)

1.5.1 El método de Hernández – Corvo

El método de Hernández Corvo (HC) (Hernández, 1989), consiste en tipificar el pie según unas medidas que se realizan en base a la impresión plantar (figura 1.9). Presenta una buena precisión, tanto en la realización como en la clasificación del tipo de pie que va desde el pie plano hasta el pie cavo extremo. El procedimiento consiste en: marcar dos puntos, en las prominencias más internas de la huella (1 y 1'). Una vez hecho esto, se realiza el trazo inicial que es el que une ambos puntos. Después se marca otro punto en la parte más anterior de la huella (incluyendo los dedos) y en la parte más posterior otro punto (2 y 2'). Se trazan perpendiculares a estos últimos puntos respecto al trazo

inicial. La distancia entre este trazo y el punto 1 es la medida fundamental y se ha de trasladar tantas veces como quepa en el trazo inicial (3, 4 y 5). Se traza una perpendicular a la línea 3, pasando por la parte más externa de la huella; otra perpendicular a 4 y otra a 5 pasando también por la parte más externa (6, 7 y 8 respectivamente). La distancia entre el trazo inicial y 6 es X (ancho del metatarso); la distancia entre 9 y 7 es Y (arco externo, superficie apoyo mediopié). (Fresno, 2013)

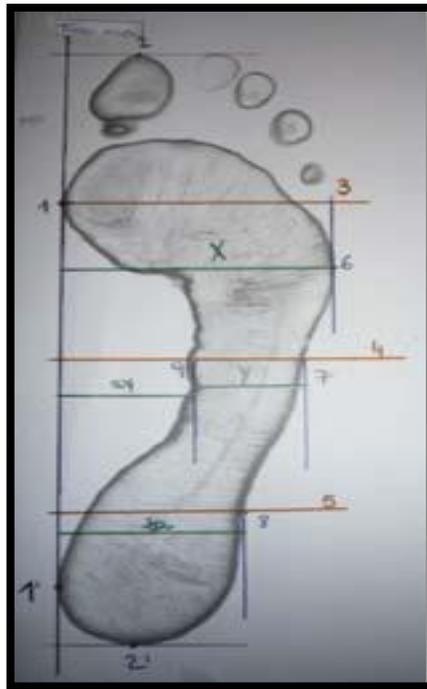


Figura 1.9. Segmentación de la planta del pie por el método Hernández Corvo
Fuente: (Fresno, 2013)

1.5.2 Índice del arco

El IA (Índice del Arco) (Tabla 1.1), descrito por Cavanagh y Rodgers (1987), es una medida útil y un predictor válido de la altura del arco interno del pie. Según Nikolaidou y Boudolos (2006) es uno de los parámetros de la huella plantar más citados en la literatura. Además, se demuestra que, comparado con el resto de mediciones que usan,

es el que proporciona menos casos de pies sin clasificar. Según McCrory (1997) se pudo demostrar la validez para evaluar y además explicar el 50% de la varianza de la altura del arco interno. Con medidas cuantitativas se demuestra buenas correlaciones con la altura del arco longitudinal del pie. Howard y Briggs (2006) estipulan que es una alternativa de cuantificación de la estructura del pie en posición de reparto de cargas, es decir, en estancia bipodal⁵ normal. El IA está definido como la proporción entre las áreas de contacto de las diferentes partes de la huella plantar excluyendo los dedos. Para dividir el pie en tres partes iguales se tiene que tomar primero el eje axial del pie, que es una línea que va desde el centro del talón hasta lo más alto del segundo dedo. El IA se mide como la proporción del área del medio pie entre la superficie total del pie exceptuando los dedos. Así, se obtienen los siguientes valores que determinan el tipo de pie según los centímetros cuadrados: (Fresno, 2013)

- Pie cavo se considera cuando $IA < 0,21$
- Pie normal está comprendido entre $0,21 < IA < 0,26$
- Pie plano se considera cuando $IA > 0,26$. (Fresno, 2013)

Tabla 1.1 Índice de deformación

Pie Plano	de 0 a 34
Plano Normal	de 35 a 39
Normal	de 40 a 54
Normal Cavo	de 55 a 59
Cavo	de 60 a 74
Cavo Fuerte	de 75 a 84
Cavo Extremo	de 85 a 100

Fuente: (Fresno, 2013)

⁵ **Bipodal:** Postura estática en el que el alineamiento del cuerpo total o segmental cuando esta se encuentra sin altos rangos de movimiento en el espacio y esta postura se refiere a la relación de longitud y tensión de sus músculos y su correspondiente alineamiento articular.

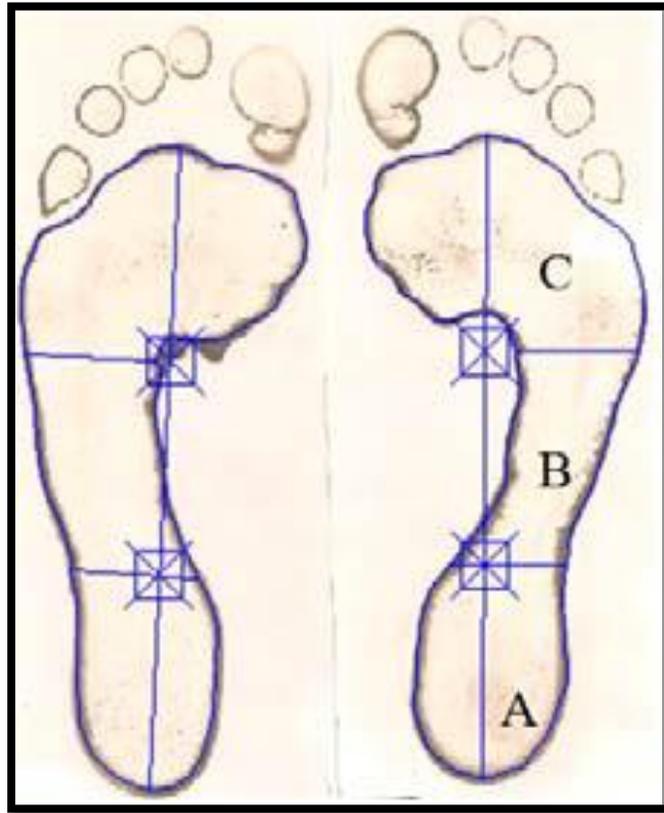


Figura 1.10a. Puntos de segmentación.

Fuente: (Fresno, 2013)

$$IA = \frac{B}{A + B + C}$$

Figura 1.10b. Ecuación de índice de deformación.

Fuente: (Fresno, 2013)

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO PODOMEDBOX

En este capítulo se tratará sobre la construcción y las especificaciones del equipo realizado dando a conocer los materiales que se ocuparon y las características que éste tiene como son: resistencia, eficacia y precisión al momento de realizar el análisis de la planta del pie de cada paciente.

2.1 Diseño mecánico del equipo

En la construcción del podoscopio se utilizó programas de diseño y arquitectura para solventar el montaje del equipo vista desde tres dimensiones. La estructura metálica rectangular cuyas dimensiones son de: 45 centímetros de largo, 35 centímetros de ancho y 45 centímetros de altura (de la cámara al vidrio), se realizó con tubo cuadrado de ½ pulgada y su revestimiento se lo hizo con alucobond de 6 líneas (6 mm) (tabla 2.1), “pues son paneles de recubrimiento de aluminio formados por dos capas de aluminio sintético a los lados y en el interior un núcleo plástico, es resistente al agua, polvo, rayos solares, humedad, no se oxida, es aislante térmico y de fácil instalación, el tiempo de vida es indefinido por su composición”. (IMMAKA, 2014)

Tabla 2.1 Especificaciones de grosor y peso del alucobond.

Grosor	Unidad	6 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm
Grosor de lamina de cubierta, lado anterior	[mm]				1,0	
Grosor de lamina de cubierta, lado posterior	[mm]	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0
Peso	[kg/m ²]	4,7	5,0	6,7	7,0	7,3

Fuente: (ALUCORE, 2015)

Para los acabados y detalles respectivos se utilizó vinil mate de corte de alto brillo para forrar las partes relevantes del equipo y con vinil ploteado se realizó el logo de la Universidad del Azuay con el nombre del proyecto PODOMEDBOX de acuerdo al diseño realizado en el programa Ilustrador y 3D Max. (Figura 2.1a)

Para que los pacientes puedan pararse y hacer uso del equipo se utilizó un vidrio templado de 10 líneas (10 mm) por las propiedades de resistencia que éste tiene, a demás se coloco 2 metros de una cinta de leds marca Silvania para que la luz se refleje por el vidrio y la pisada del paciente pueda observarse por la cámara Genius que está ubicada en la parte inferior del equipo que toma la muestra de la planta del pie para el respectivo análisis. (Figura 2.1b)



Figura 2.1a. Estructura metálica de ½ pulgada con alucubond.

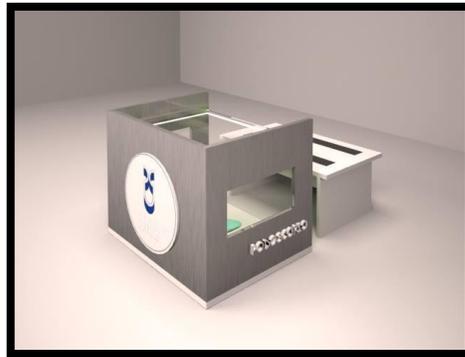


Figura 2.1b. Podomedbox finalizado

2.2 Propiedades generales del vidrio templado

La principal limitación que posee el vidrio como material de construcción es su conocida fragilidad. El proceso de templado incrementa su resistencia mecánica y térmica convirtiendo al vidrio templado en un vidrio de seguridad. Para mejorar la resistencia estructural y el impacto de un vidrio, se recurre al proceso de templado, que consiste en calentarlo uniformemente hasta una temperatura superior a los 650°C (punto de ablandamiento) y luego enfriarlo bruscamente, soplando aire frío a presión controlada sobre sus caras. La superficie del vidrio se enfría más rápidamente, mientras que la zona interior continúa dilatándose. Como consecuencia de este diferencial de contracción, el vidrio templado concentra zonas de energía, presentando un equilibrio inestable de

tensiones (compresión en sus superficies y tracción en el interior), que le brindan una mayor capacidad para resistir esfuerzos de tracción, ya sean de origen mecánico o térmico. (AMEVEEC, 2014)

2.2.1 Características del vidrio templado según fabricante

- Espesor de 10mm o 1cm.
- Posee una densidad de 2500 Kg/m³, lo cual en vidrio plano es de 2.5 Kg/m² por cada milímetro de espesor.
- Punto de ablandamiento de 730°C aproximadamente.
- Conductividad térmica de 1.05 W/mK, que es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. (NARVAEZ, 2013)

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{KA}{X} = (T1 - T2)$$

Donde:

$\frac{Q}{\Delta t}$ Calor transmitido por unidad de tiempo.

k Conductividad térmica.

A Área de la superficie de contacto.

(T1 – T2) Diferencia de temperaturas entre el foco caliente y frío.

X Espesor del material. (NARVAEZ, 2013)

- El alargamiento de dilatación lineal es de 9×10^{-6} °C a una temperatura de 20°C y 220°C.

Por ejemplo un vidrio de 2000 mm de longitud que incremente su temperatura en 30° C, sufrirá un alargamiento de $2000 \cdot (9 \times 10^{-6}) \cdot 30^{\circ}\text{C} = 0.54 \text{ mm}$.

- La dureza del vidrio templado es la misma dureza superficial que el vidrio reconocido o crudo.
- Posee un modulo de Young de 720000 Kg/cm^2 .
- Posee un coeficiente de Poisson entre 0.22 y 0.23.
- No presenta cambios a la intemperie (resistencia) (NARVAEZ, 2013)

2.2.2 Resistencia y pesos que soporta el vidrio templado utilizado

Hay que recalcar que para calcular el peso se debe tener en cuenta lo siguiente:

Resistencia a la compresión

- 10.000 Kg/cm² aproximadamente es el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1 cm de lado. (AMEVEC, 2014)

Módulo de rotura para

- Vidrios recocidos 350 a 550 Kg/cm²
- Vidrios templados 1850 a 2100 Kg/cm² (AMEVEC, 2014)

Módulo de trabajo para:

- Vidrio recocido, carga momentánea 170 Kg/cm²
- Vidrio recocido, carga permanente 60 Kg/cm²

- Vidrio templado 500 Kg/cm² (AMEVEC, 2014)

Cálculo del peso que soporta el vidrio

Se tiene un vidrio de 10 líneas o 1cm de espesor cuyas dimensiones son de 37,5cm X 38cm, a demás su modulo de trabajo para carga permanente es de 500 Kg/cm²

El peso que soporta es de:

$$M = (500 \text{ kg/cm}^2) \times (37.5 \text{ cm} \times 38 \text{ cm})$$

$$M = 712,500 \text{ Kg.}$$

Peso = Masa X Gravedad (Ecuador)

$$\text{Peso} = (712.500\text{Kg}) \times (9.78 \text{ m/seg}^2)$$

$$\text{Peso o Fuerza} = 6968,25 \text{ N.}$$

2.3 Propiedades de la cámara y su enfoque

Unos de los aspectos de gran importancia es el análisis de la visión y el enfoque de la planta del pie, por lo que se calculó la altura a la que debía estar el paciente, siendo ésta de 45 cm desde el lente de la cámara hasta el vidrio donde se paraban abarcando de esta manera toda la planta del pie para su detección.

2.3.1 Webcam hd de 720p con autofocus

La FaceCam 1020 (figura 2.2), soporta una alta definición de 720p y una tasa de hasta 30 cuadros por segundo. Cuenta con un diseño único de enganche y no requiere controladores para los sistemas operativos Windows 7, MAC o Linux. Además, es ideal para utilizarlo con Skype, MSN, Yahoo Messenger y otros comunicadores de mensajería instantánea. Posee una rotación de 360° y una inclinación de arriba - abajo de 90°. Por seguridad incluye la nueva función IPM que ayuda a evitar que accesos no autorizados tomen el control de la cámara web. (GENIUS, 2011)

2.3.1.1 Características

- Sensor superior HD720P/1.3M pixeles, resolución suficiente para la altura del equipo.
- Lente de foto automático de gran precisión.
- Lente ajustable que permite rotar 360° e inclinarse 90°.
- Video HD de 1280 x 720 (720P), tasa de hasta 30 cuadros por segundo.
- Video de 1.3MP en 1280 x 1024, tasa de hasta 30 cuadros por segundo.
- Micrófono incorporado.
- Función IPM (Image Protection Mechanism).
- Clip de enganche único, disminuye el ángulo visual para chatear cara a cara.
- Completamente Plug & Play, no requiere driver. (GENIUS, 2011)

La cámara está conectada al puerto USB de un computador portátil para realizar la adquisición de imágenes.



Figura 2.2. WebCAM
Fuente: (GENIUS, 2011)

2.4 Iluminación

Las tiras de LEDs, independiente de la marca, se comercializan en 30, 60 y 90 LEDs por metro en forma estándar. También hay de 75 y 120 LEDs por metro para ciertos casos especiales.

Las tiras LEDs vienen de 3, 5 y 6 (figura 2.3a) metros lineales, y se pueden hacer cortes de 5 centímetros, es decir, cada tres LEDs (su fuente proporciona DC12 V, corriente continua) o a su vez para tiras LEDs de 10 centímetros, es decir, cada 6 LEDs (su fuente debe proporcionar DC 24V, corriente continua). La tensión que debe proporcionar la fuente es independiente del largo en que hayamos cortado la tira. (ILUMINET, 2014)

En el equipo realizado se colocó alrededor del vidrio 2 metros de una tira de LEDs de color verde (figura 2.3b) de alto brillo de marca Silvania de 12V y 24W de potencia. Ésta se utilizó de tal manera para que al momento de realizar la captación de la imagen de la planta del pie se tenga una mayor claridad en la visión de la cámara donde va estar parado el paciente. Hay que recalcar que se usó el color verde porque en el sistema de

programación en LabView el código correspondiente para la imagen se analizó con dicho color y había una mayor facilidad de mantener los blancos y negros de la imagen captada.



Figura 2.3a. Módulo de 3 LEDs
Fuente: (RESIDENCIAL, 2016)



Figura 2.3b. Tira de LEDs de 5m (luz verde)

2.5 Consumo de energía de cada elemento

Tabla 2.2 Especificaciones de consumo de energía de los elementos utilizados.

ELEMENTO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)
ADAPTADOR	12V	2A	24W
72 LEDS	12V	1.8A	21.6W
CÁMARA	5V	500mA	2.5W

2.5.1 Consumo de energía del sistema

Voltaje max: 12 VOLTIOS

Voltaje min: 5V

Corriente max: 2 AMPERIOS

Corriente min: 500mA

Potencia: 48.1 VATIOS

2.6 Esquemas de conexión

Se realizaron los esquemas de conexión tanto de encendido y apagado de los LEDs con ayuda del programa EveryCircuit Aplicación Android (figura 2.4a y figura 2.4b).

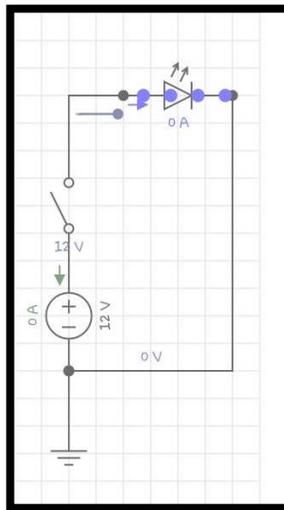


Figura 2.4a. Conexión con interruptor normalmente abierto

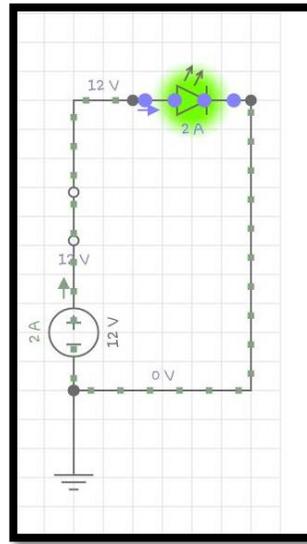


Figura 2.4b. Conexión con interruptor normalmente cerrado

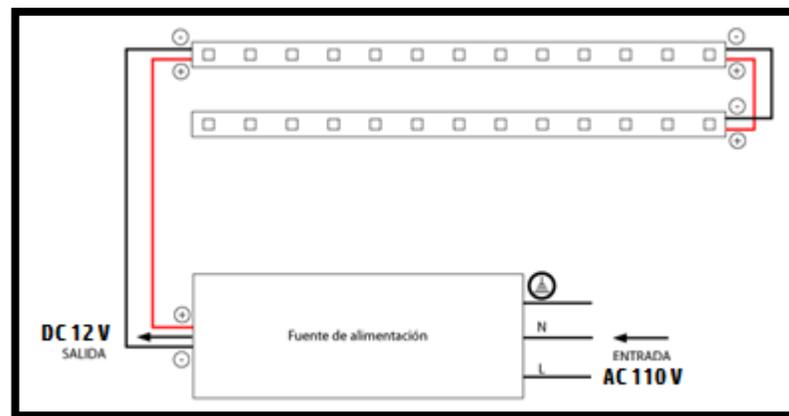


Figura 2.5. Esquema general de la conexión
Fuente: (RESIDENCIAL, 2016)

CAPÍTULO 3

FUNCIONAMIENTO Y PROPIEDADES DEL SISTEMA UTILIZADO

En este capítulo se abarcará con el funcionamiento del sistema implementado en el equipo Podomedbox programado en la plataforma de LabView, pues se determinarán las propiedades y facilidades que brinda al médico o especialista en el área de la podología. También se verán las ventajas que éste tiene comparándolo con la aplicación de otros métodos mediante la validación de los resultados obtenidos de las muestras tomadas de las plantas del pie de cada pacientes y así ver la eficacia y precisión del equipo Podomedbox.

1.1 Funcionamiento del sistema implementado

El programa que se realizó en la plataforma de LabView funciona de la siguiente manera:

El paciente debe pararse sobre el vidrio templado colocado en la parte superior del equipo (figura 3.1), una vez ahí con ayuda de la cámara WEBCAM HD DE 720P se enfoca la imagen de la planta del pie y se debe tener en cuenta que ambos pies estén visualizándose por el lente de la cámara (figura 3.2).

Dicha imagen se captura y se procesa en color blanco y negro, se configura la gama de colores de la imagen obtenida de acuerdo a los colores predominantes en ella, el cambio a un color binario nos permite tener una mayor definición de la pisada del paciente al momento de realizar el enfoque de la planta del pie.

El sistema que se realizó detecta que clase de pie tiene cada paciente, a través de un análisis más profundo según el método de Hernández – Corvo que anteriormente se explicó para obtener el grado de deformación de la planta del pie (HC)⁶.



Figura 3.1. Podomedbox encendido listo para usarse.



Figura 3.2. Procedimiento del paciente para el inicio del examen.

⁶ HC: Índice del método Hernández – Corvo.

1.2 Descripción de cada uno de los paneles gráficos programados

En el panel de la figura 3.3 se coloca los datos personales del paciente como son: Nombres, Apellidos, Género, edad, el peso en libras, altura en centímetros, el número de calzado en talla europea y en comentarios se coloca las observaciones de cada paciente como por ejemplo: Si sufre de hipertensión, diabetes, malestares a nivel de la zona lumbar, zona torácica, molestias en las rodillas, etc.

El botón de ayuda sirve para el personal médico o personal técnico que está realizando el examen, pues se tiene la información desglosada de cada campo. Finalmente, los datos ingresados se guardan automáticamente en el registro del sistema en un documento de Excel para dar un seguimiento adecuado a cada uno de los pacientes. Para continuar con el examen médico y pasar a la captura de la imagen de la planta del pie se presiona en la pestaña superior cámara la cual nos direcciona a la siguiente ventana.

PODOMEDBOX																						
																						
Nombres:	<input type="text"/>																					
Apellidos:	<input type="text"/>																					
Genero:	Calzado (EUR):																					
<input type="text"/>	<input type="text"/>																					
Peso (Lb):	Altura (cm):	Edad:																				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																				
Comentarios:																						
<input type="text"/>																						
Guardar		Borrar																				
<table border="1"> <tbody> <tr><td>Nombres:</td><td></td></tr> <tr><td>Apellidos:</td><td></td></tr> <tr><td>Genero:</td><td></td></tr> <tr><td>Edad:</td><td></td></tr> <tr><td>Peso (Lb):</td><td></td></tr> <tr><td>Calzado (EUR):</td><td></td></tr> <tr><td>Altura (cm):</td><td></td></tr> <tr><td>Fecha:</td><td>12/05/2016</td></tr> <tr><td>Comentarios:</td><td></td></tr> </tbody> </table>					Nombres:		Apellidos:		Genero:		Edad:		Peso (Lb):		Calzado (EUR):		Altura (cm):		Fecha:	12/05/2016	Comentarios:	
Nombres:																						
Apellidos:																						
Genero:																						
Edad:																						
Peso (Lb):																						
Calzado (EUR):																						
Altura (cm):																						
Fecha:	12/05/2016																					
Comentarios:																						
Siguiente		Ayuda		Terminar																		

Figura 3.3. Panel de ficha médica.

En la figura 3.4 se presenta el panel de la cámara donde se realiza la captura de la imagen de la planta del pie, en la primera pantalla de borde azul ubicada en la parte izquierda se observa los pies del paciente reflejados en el vidrio templado a tiempo real, hay que recalcar que los pies del paciente deben verse en su totalidad por la lente de la cámara. El botón captura guarda la imagen de la planta del pie y procesa dicha imagen en la gama de colores blanco y negro para su mejor visualización. La imagen se guarda automática en la dirección que se le asigne. Para ver los resultados se pueden obtener de manera automática o manual según como desee el médico o especialista.

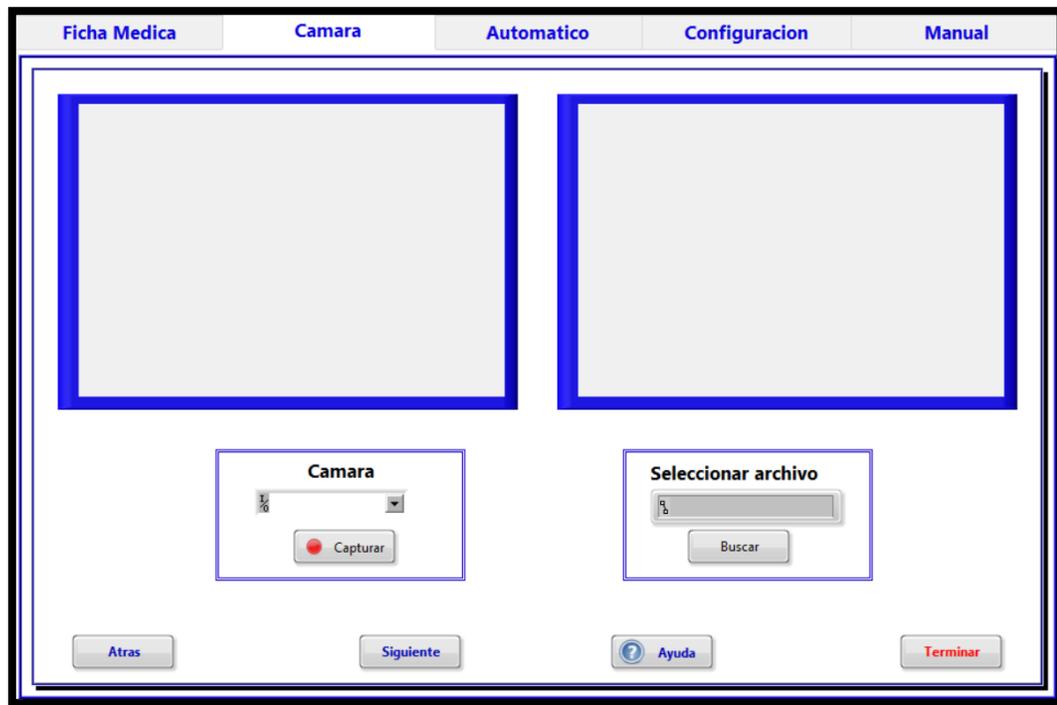


Figura 3.4. Panel de la cámara.

En el panel de la figura 3.5 se realiza el análisis de la planta del pie automáticamente, es decir, sin necesidad de puntos de referencia solo se aplica el método de Hernández – Corvo y se toma las medidas de la imagen capturada según lo que está programado en el sistema de adquisición. Para tomar el área de interés de la planta del pie que va desde el metatarso, se ayuda de las barras indicadoras en caso de que los dedos del paciente sean muy largos o estén interfiriendo en la medida de dicha área. En la tabla de referencia

ubicada en el centro de la pantalla se observa los resultados de las diferentes mediciones del pie y el porcentaje de índice de deformación que ésta presenta y se obtiene el tipo de pie del paciente. Además, se podrá obtener por separado el análisis de cada pie tanto derecho como izquierdo sin necesidad de reiterar el examen médico. En la pantalla izquierda está la imagen capturada de los pies del paciente, mientras que en la pantalla derecha está la imagen en blanco y negro procesada según la gama de colores que ésta presenta.

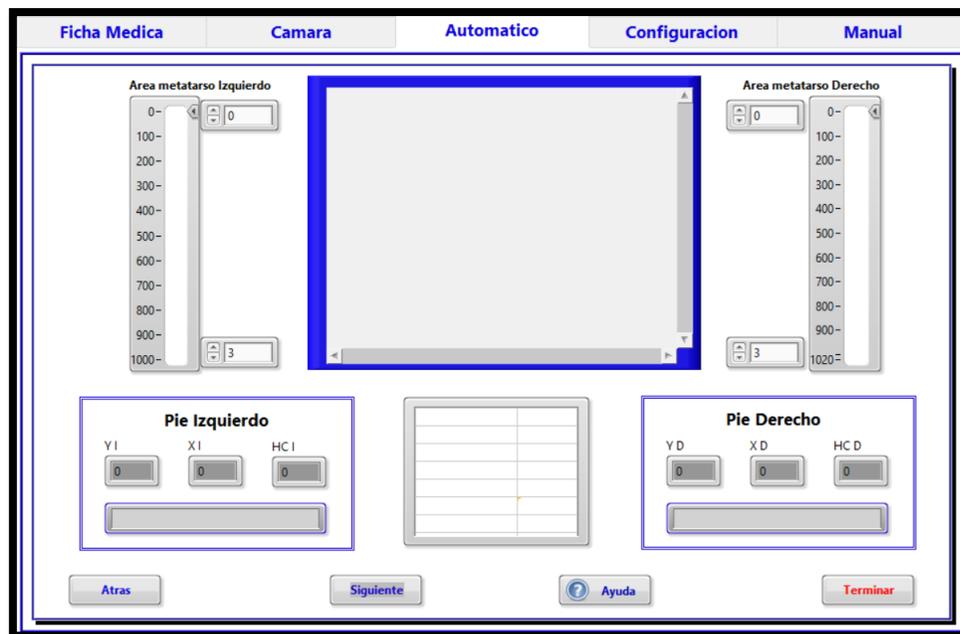


Figura 3.5. Panel de análisis automático.

En la figura 3.6 se muestra el panel de configuración donde se trabaja con la imagen capturada de los pies del paciente y se puede variar tanto el brillo, contraste y la gama de colores para tener una mayor visualización de la misma, lo cual permite disminuir el ruido de luz existente para evitar variaciones en el análisis de los resultados.

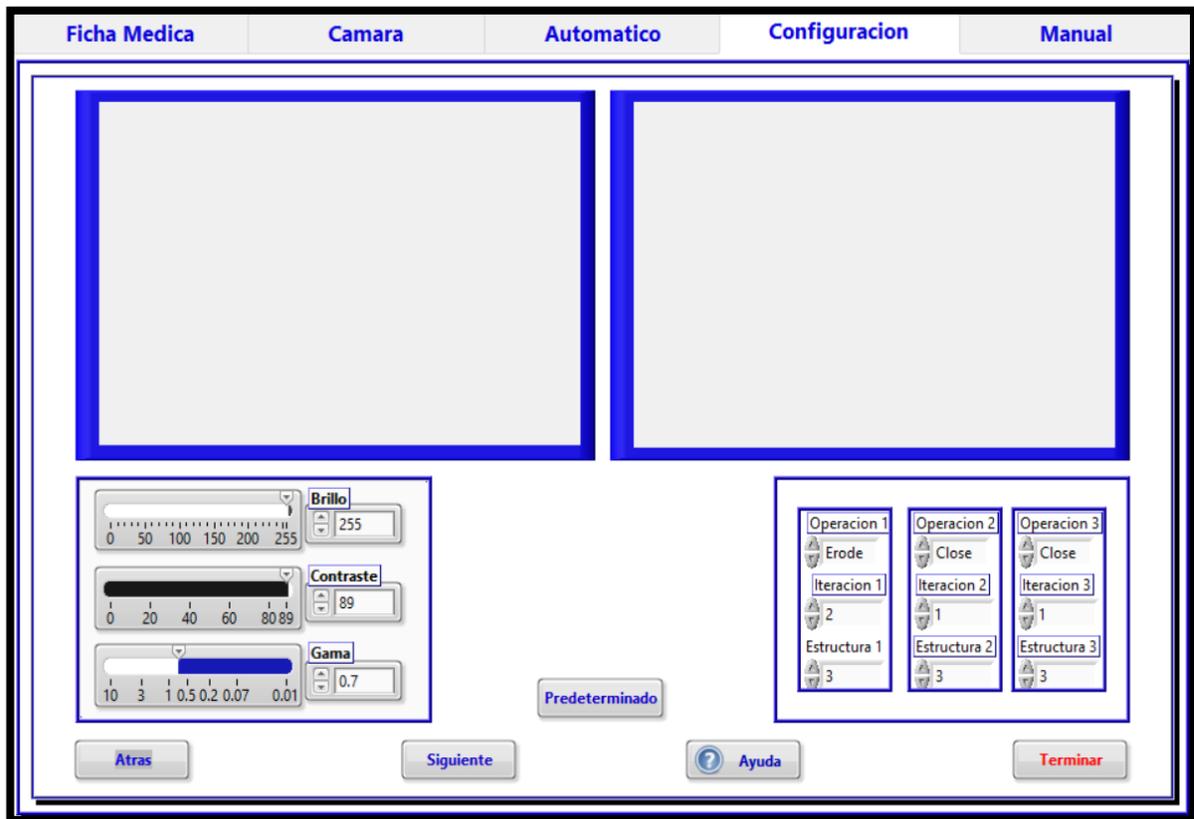


Figura 3.6. Panel de configuración.

En la ventana de la figura 3.7 se analiza la pisada del paciente pero de acuerdo al criterio del especialista o médico, pues aquí se colocan puntos de referencia para medir las partes específicas de los pies y luego sacar el índice de deformación que éste tiene, además, se tiene la posibilidad de realizar trazos que requiere el médico facilitando el método de aplicación que este tiene. Para seleccionar los puntos en la imagen guardada, se presiona el botón seleccionar puntos en el lugar donde se desea colocarlos.

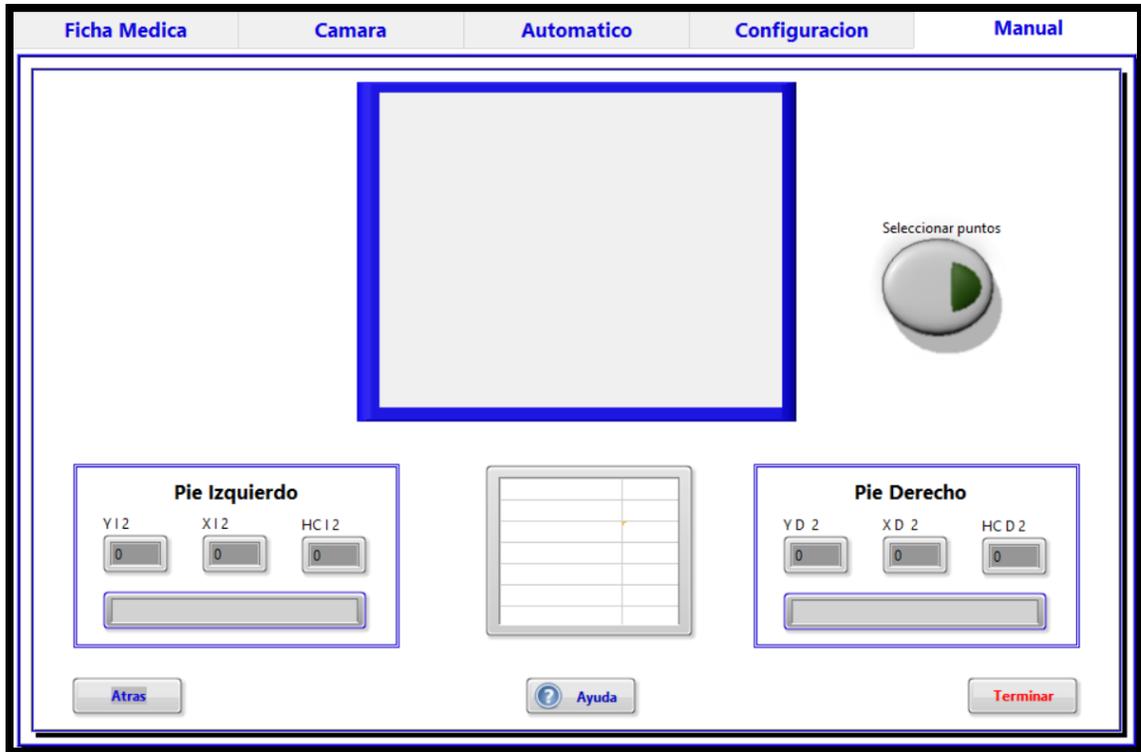


Figura 3.7. Panel de análisis manual.

1.3 Descripción de la programación del sistema

Existen valores que deben ser iniciados al comienzo del programa, como el número de iteraciones, la configuración de procesamiento de la imagen, pantalla principal, etc. Para esto se usó la propiedad “Variable local” (Figura 3.8), para dar un valor predeterminado al inicio del programa como por ejemplo se tiene los controles de procesamiento de la imagen con un Cluster que es un grupo de valores y en la sección de seleccionar ubicación con un valor Falso.



Figura 3.8. Variable local y valores predeterminados.

Al momento de visualizar una imagen es necesario crear una ubicación de memoria temporal, para lo cual se necesita un nombre y el formato de la imagen que será en este caso RGB U32 por ser una imagen a color (figura 3.9), siendo esto necesario realizar cuando se inicia el programa.

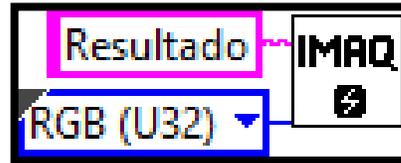


Figura 3.9. Formato de la imagen.

La programación comienza con un While Loop que es una estructura de lazo cerrado que permite la continuidad de la programación (figura 3.10). Al presionar el botón Terminar el mismo que se encuentra dentro de un Case Structure (estructura de casos) que contiene más de un diagrama, se ejecutarán las diferentes aplicaciones para cumplir los procesos establecidos como son: Ficha médica, cámara, automático, configuración y manual. La selección de los diferentes casos se efectúa a través de un contenedor llamado Tab Control el mismo que selecciona el caso que se visualizará por medio de pestañas.

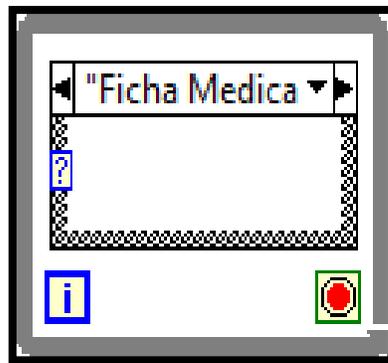


Figura 3.10. Estructura While Loop.

Para el contenido del panel de ficha médica (figura 3.11) se incluyen campos en los cuales se ingresa la información básica del paciente, además, están ligados a los resultados de los análisis posteriores los mismos que disponen de la opción de guardar los datos en un Excel.

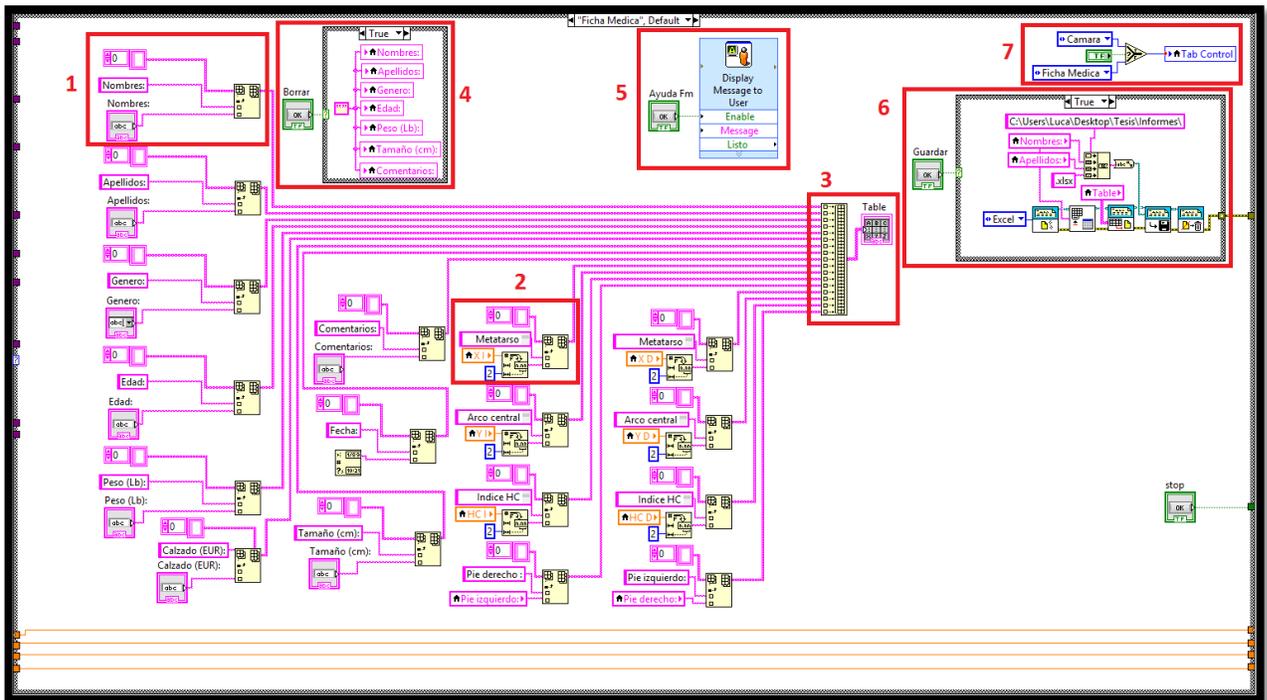


Figura 3.11. Programación Ficha médica.

Para los datos se crea un arreglo de una dimensión mediante la unión de dos Strings (cadena de caracteres) (figura 3.12), siendo el segundo campo en donde se ingresará la información básica del paciente. Esta unión se realiza mediante la herramienta Insert Into Array (insertar en arreglo).

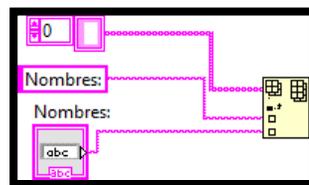


Figura 3.12. Entrada de datos.

El ingreso de medidas es similar al anterior punto mencionado (figura 3.12), en este proceso el valor que se toma del caso automático es la variable local (figura 3.13), la cual es convertida en un String de dos dígitos de precisión para las diferentes medidas.

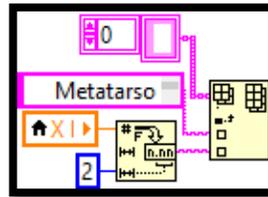


Figura 3.13. Ingreso de medidas.

Con la herramienta Build Array (Construir arreglo) (figura 3.14), se toma n arreglos de una dimensión para hacer un solo arreglo de n dimensiones, el cual se incluirá en una tabla que tendrá toda la información y datos sobre el examen realizado de cada paciente.

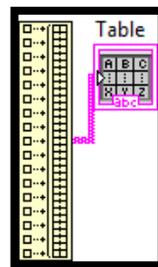


Figura 3.14. Registro de datos.

En esta sección se borran los campos de información básica, para esto simplemente se sobrescribe una constante vacía en una variable local de cada uno de los procesos, esto se encuentra ubicado en un Case Structure (figura 3.15), que se ejecuta solamente una vez al presionar el botón borrar.

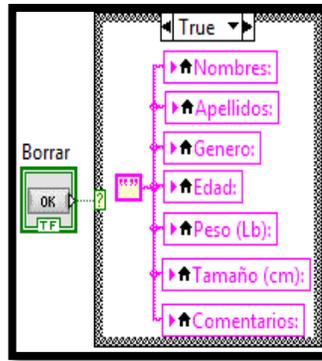


Figura 3.15. Borrar campos.

Con la ayuda de la herramienta mostrar un mensaje al usuario (Figura 3.16), se abre una ventana que muestra un mensaje previamente escrito.

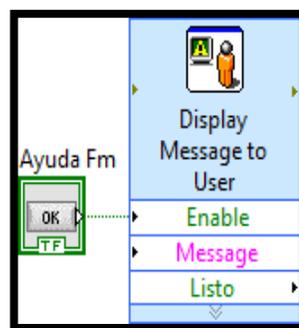


Figura 3.16. Mostrar ayuda.

En la figura 3.17 se muestra el proceso para guardar los datos en un archivo de Excel, para lo cual se usa una serie de herramientas que comienzan por crear una nueva hoja de Excel, dar nombre al archivo, ingresar los datos y grabar en la ruta especificada la misma que será en una carpeta preestablecida con el nombre y apellido del paciente, siendo guardada en cualquier momento que el usuario lo desee.

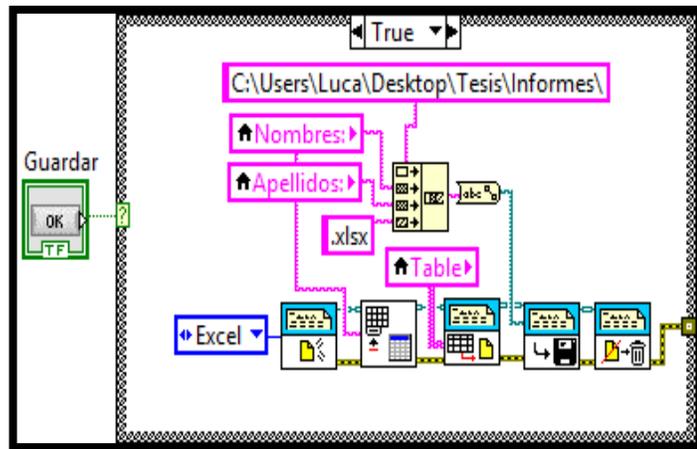


Figura 3.17. Guardado en Excel.

En la figura 3.18 se observa que mediante la acción del botón siguiente y la variable local ligada al Tab Control se genera el cambio al próximo caso y a la nueva pantalla (cámara), para lo cual se utiliza un seleccionador, que es activado por su botón respectivo.

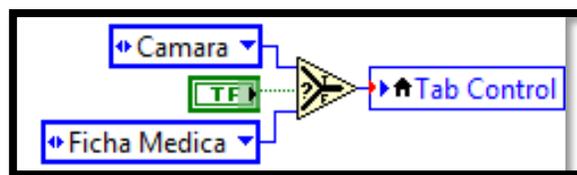


Figura 3.18. Navegación por botones.

En la figura 3.19 se puede observar la programación de la cámara para la adquisición de imágenes, mediante una cámara o un archivo existente en el ordenador.

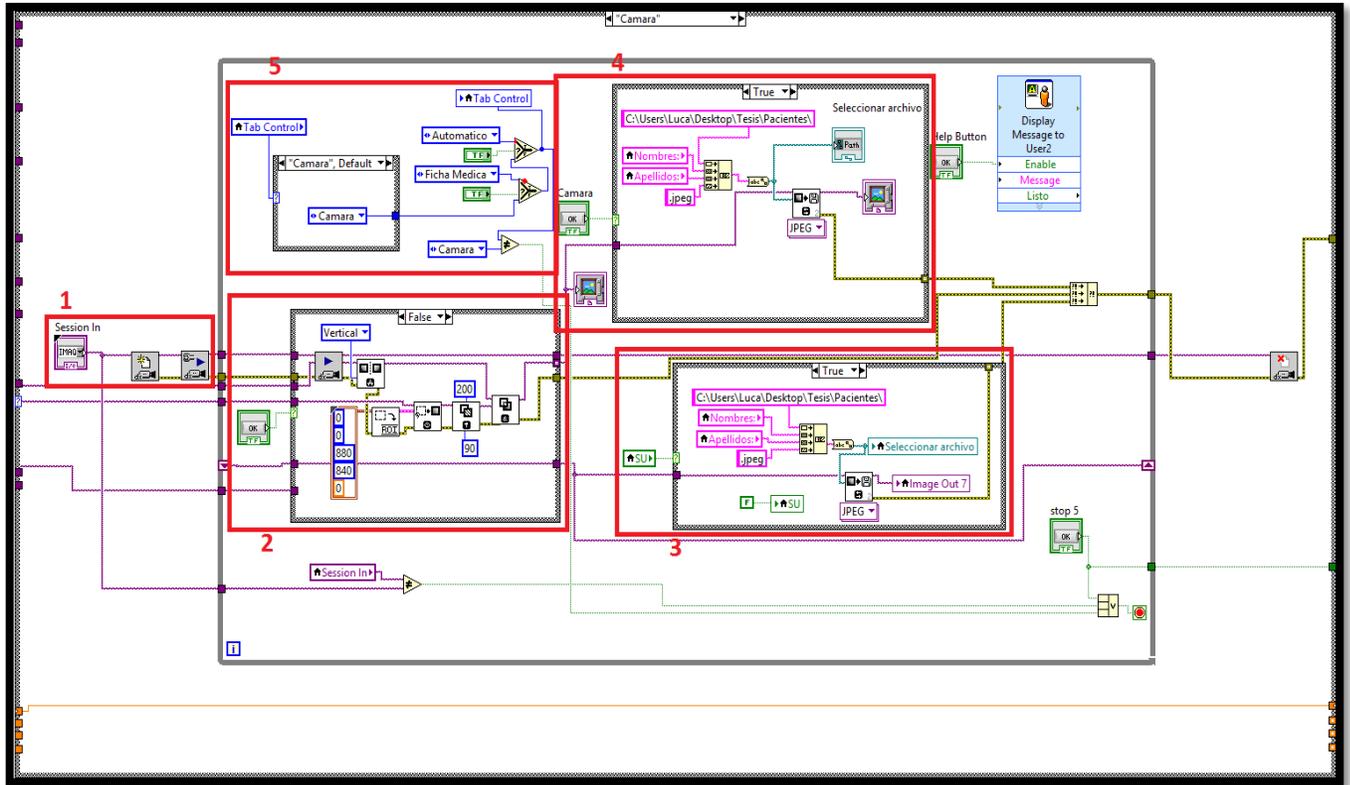


Figura 3.19. Programación Cámara.

Se selecciona entre las diferentes cámaras disponibles en el ordenador, además, se restringe el uso de la misma en otras aplicaciones y se establece las configuraciones iniciales de uso (figura 3.20).



Figura 3.20. Acceso y configuración cámara.

Se obtiene la imagen por medio de la cámara en tiempo real, se invierte simétricamente en el eje vertical y se define el ROI (Región de Interés) en el que se estableció empíricamente dando una medida fija de la región en donde se centran los pies. En el caso de disponer de una imagen que se desee analizar, se puede seleccionar la ruta desde el ordenador (figura 3.21).

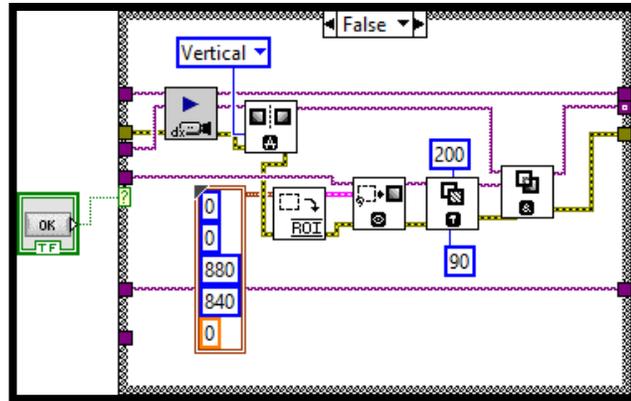


Figura 3.21. Adquisición de imagen.

En la figura 3.22 se obtiene la imagen y se guarda en el destino previamente seleccionado por el usuario, con nombre y apellido del paciente, en formato jpeg, siendo visualizada en la pantalla.

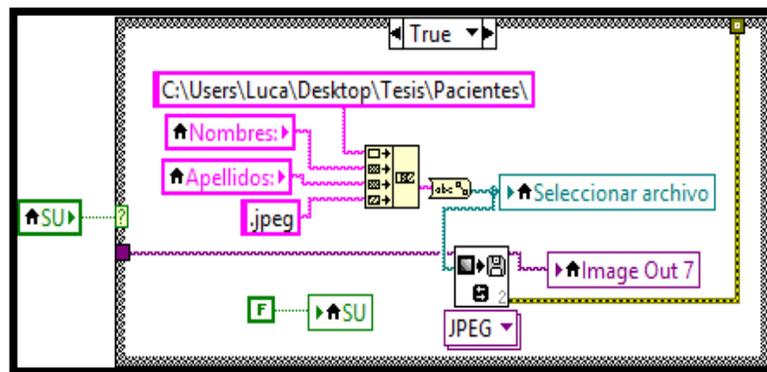


Figura 3.22. Guardar imagen.

Su función es similar al caso de navegación anterior (figura 3.18 navegación por botones). Debido al uso de otro While Loop es necesario añadir otro caso en el que se ligan las pestañas de navegación (figura 3.23).

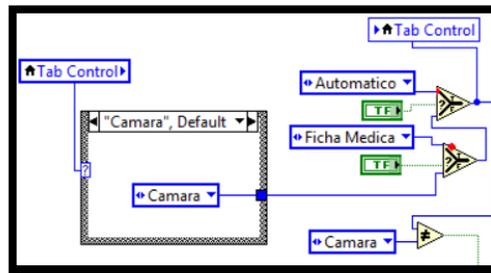


Figura 3.23. Navegación.

En la figura 3.24 se puede ver el proceso de análisis automático de la imagen, donde se tiene como función realizar el diagnóstico de la imagen previamente adquirida con el método de Hernandez - Corvo.

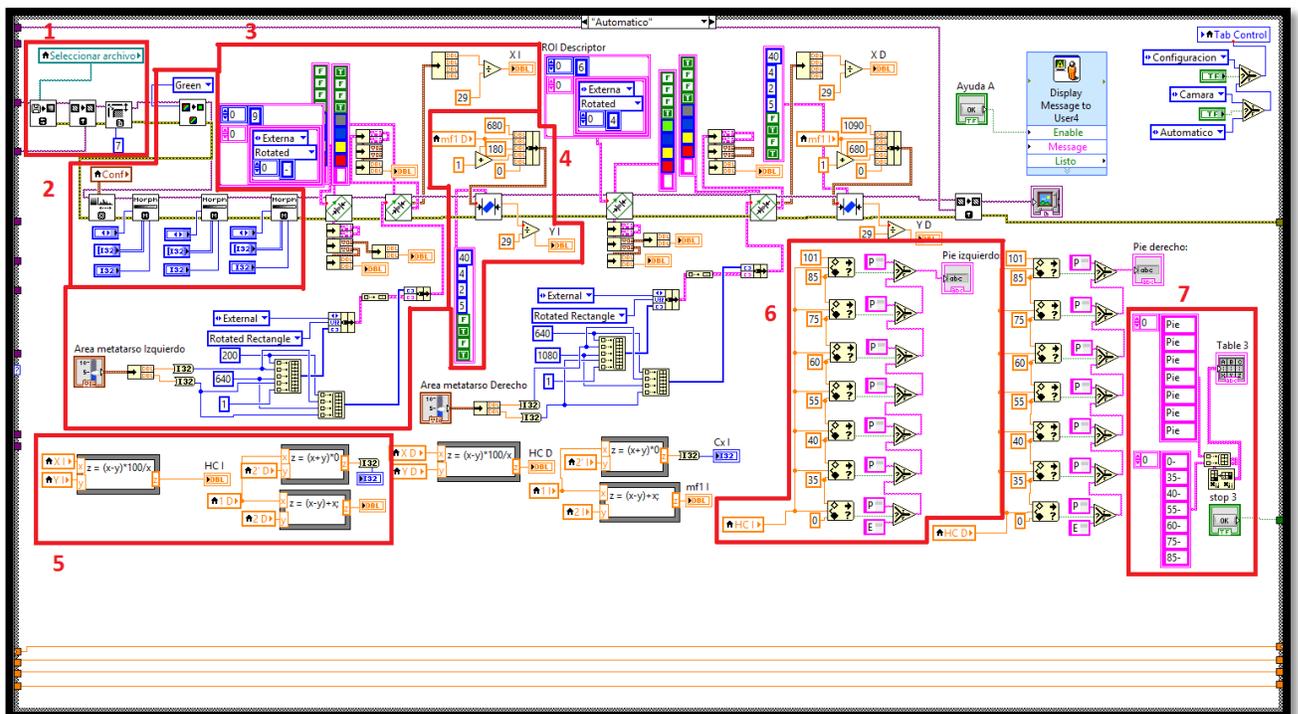


Figura 3.24. Análisis automático de la imagen.

Se puede acceder a la imagen por la ruta como fue guardada, seguido por la delimitación del tamaño del borde de la imagen para tener siempre un tamaño estándar (figura 3.25).

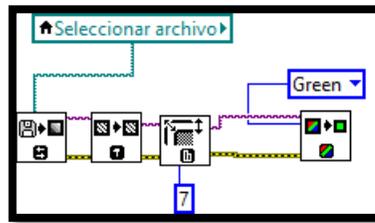


Figura 3.25. Selección del archivo.

Se procede a la extracción de un solo color (Verde por la luz utilizada en la maqueta) descartando los demás colores, el resultado es una imagen binaria a blanco y negro. Se continúa con tres operaciones morfológicas diferentes, las cuales arreglan la imagen con operaciones matemáticas (Figura 3.26). Debido a que la luminosidad puede variar dependiendo del lugar donde se realice la adquisición de la imagen, se dispone de controles con valores predeterminados. La imagen obtenida se procesa y se utiliza la herramienta de morfología matemática la misma que simplifica los datos de la imagen, y se mantiene las características esenciales y elimina los aspectos irrelevantes que se encuentran en ella. La morfología que se utilizó en el podomedbox para el pre-procesamiento de las imágenes fueron: supresión de ruido y simplificación de formas en las que se destacó la estructura de la planta del pie dentro del área del metatarso.

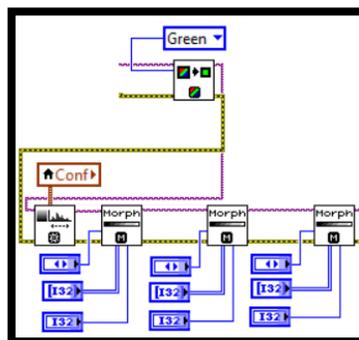


Figura 3.26. Procesamiento de imagen.

La imagen se representa como una imagen binaria, es decir, como una función de dos variables discretas que pueden tomar dos valores “0 y 1”, dependiendo del nivel de gris de la imagen y también del color verde colocado en el equipo. La imagen binaria tiene dos niveles: Blanco y Negro, dicha imagen contiene un conjunto de puntos o píxeles, los cuales representan objetos en una imagen. La morfología matemática aplicada en una imagen se logra a través de operaciones de conjuntos los cuales representan los objetos o rasgos de interés de la misma. Para el tratamiento de las imágenes de las plantas del pie de cada paciente se trabajó con operaciones de dilatación y erosión de la siguiente manera:

La dilatación realiza el aumento de tamaño de la imagen de acuerdo al elemento estructural que se utilice para que se pueda ver el objeto, en este caso la planta del pie, el análisis de la imagen se basa en la unión de píxeles relacionados del objeto haciendo que este sea visto de una manera más clara y de mayor resolución. Esta operación toma cada píxel del objeto (con valor “1”/color blanco) y setea a todos aquellos píxeles pertenecientes al fondo de la imagen (figura 3.27) haciendo que el objeto resalte y se pueda ver la planta del pie del paciente. (INDUSTRIAL, 2005)

$$A \oplus B = \{Z \mid (\wedge B)_Z \cap A \neq \emptyset\} \quad A \oplus B = \{Z \mid ((\wedge B)_Z \cap A \subseteq A)\}$$

Figura 3.27. Fórmulas para la operación de dilatación
Fuente: (INDUSTRIAL, 2005)

La operación de erosión elimina los detalles irrelevantes de la imagen binaria pues se tiene una imagen compuesta por cuadros cuyos lados tienen 3, 5, 7 y 15 píxeles (figura 3.28) que de acuerdo a la medida se erosiona para la eliminación de píxeles vecinos para que únicamente quede el objeto requerido de la imagen (planta del pie). En otras

palabras, toma cada pixel del objeto que están en el fondo y que forman parte de la imagen y lo resetea al valor “0” (color negro) haciendo que los pixeles vecinos que son innecesarios en la imagen se vayan al fondo quedando únicamente el objeto de interés (planta del pie). La dilatación y la erosión son operaciones duales con respecto a la complementación y reflexión de imágenes. (INDUSTRIAL, 2005)

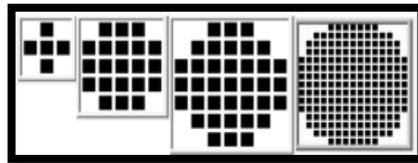


Figura 3.28. Elementos de estructura de 3, 5, 7 y 15.
Fuente: (INDUSTRIAL, 2005)

$$A \ominus B = \{Z \mid (B)_z \subseteq A\}$$

Figura 3.29. Fórmula para la operación de erosión.
Fuente: (INDUSTRIAL, 2005)

$$(A \ominus B)^c = A^c \oplus B$$

Figura 3.30. Fórmula de dualidad entre las operaciones dilatación y erosión.
Fuente: (INDUSTRIAL, 2005)

Para obtener las medidas necesarias para la ecuación HC se usa la herramienta Clamp (abrazadera), la cual entrega las coordenadas (en pixeles) del primer y último pixel en cambiar de valor de 0 a 1, se utiliza para sacar la longitud máxima desde el talón hasta el dedo más alejado y el ancho del metatarso (X), siendo puntos que pudieran no

encontrarse en una línea horizontal o vertical. Este proceso se hace individualmente para cada pie (figura 3.31).

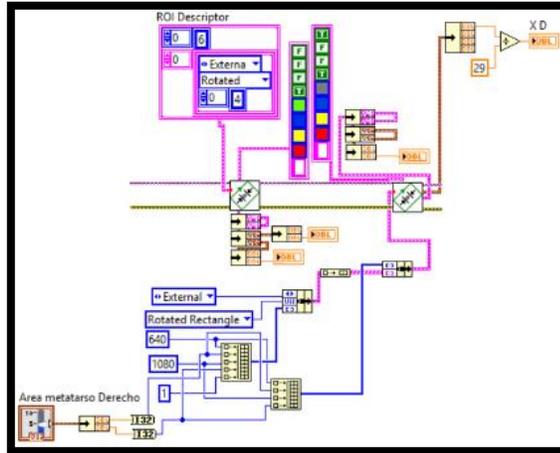


Figura 3.31. Obtención de medidas en píxeles.

La herramienta Clamp tiene variantes que dependen de lo que se requiere, para este caso se usó del Clamp Max, con medición vertical y el siguiente en horizontal, para el caso horizontal se hace un barrido en forma vertical desde el centro del ROI hacia la izquierda pixel a pixel para definir el punto inicial, el barrido se hace hasta encontrar el cambio de 1 a 0 en la posición más alejada del eje central vertical como se ve en la figura 3.32a, el mismo proceso se hace hacia la derecha y se encuentra el punto final. Para la medición vertical, el área del ROI se preestablece conociendo las dimensiones de la imagen (1280x1024), que se reducen a (880x840) para evitar destellos de luz provenientes de los LEDs, debido a que las huellas plantares siempre van a estar posicionadas una en cada mitad de la imagen y el metatarso por ser común va a estar en la mitad superior. Se define el ROI desde 200p hasta 640p para la huella izquierda y 640p hasta 1080p para la huella derecha, en cuanto a la altura va desde 90p hasta 510p, pero estos dos últimos son modificables por el usuario ya que los dedos pueden afectar la medición, (figura 3.32b).

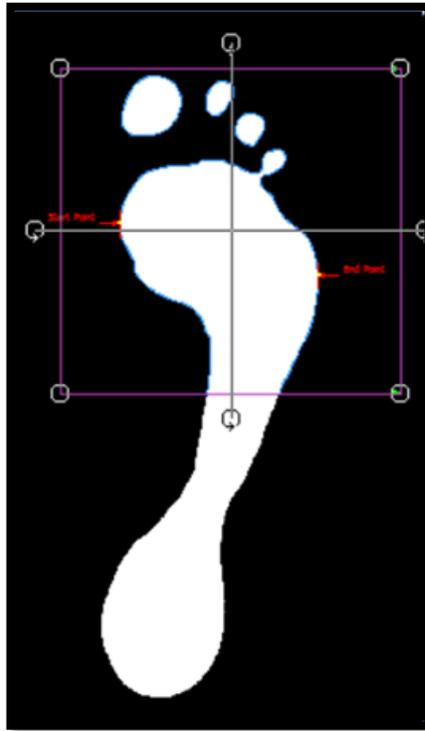


Figura 3.32a. Clamp max

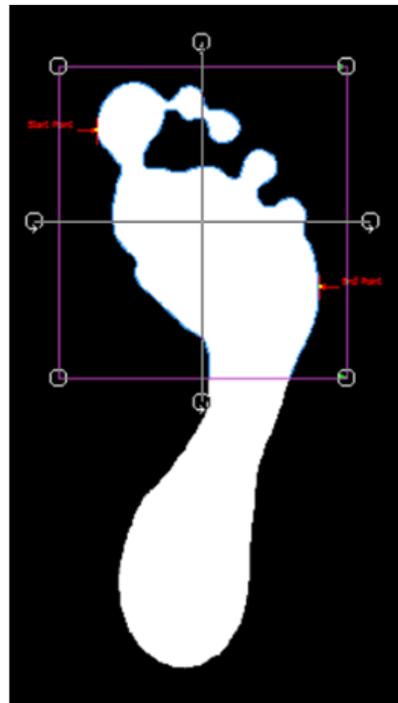


Figura 3.32b. Error

Para el Arco central se utilizó una variante del Clamp, la cual entrega la distancia (Y) entre las coordenadas inicial y final del arco central pero en una sola línea horizontal, teniendo como referencia que la posición es el doble de la distancia fundamental medida desde el punto más externo de los dedos (figura 3.33).

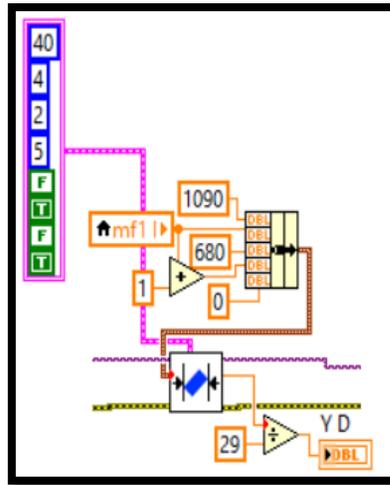


Figura 3.33. Cálculo del índice de la forma plantar.

La herramienta Clamp Horizontal Max, devuelve la distancia máxima entre los bordes más alejados tanto izquierdos y derechos, los cuales se determinan basándose en su contraste y se localizan a lo largo de un conjunto de líneas paralelas de búsqueda (figura 3.34a). El ROI se determina con el doble de la distancia fundamental (DF) desde el punto más saliente de los dedos en dirección vertical hacia el talón para lo que se usa la coordenada en Y de la medición vertical del Clamp Max y la respectiva en la horizontal. Para no tener errores se dispone de una sola línea de búsqueda localizada estrictamente en DF (distancia fundamental) (figura 3.34b).

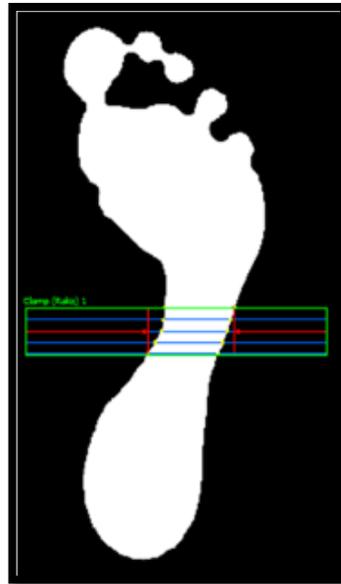


Figura 3.34a. Clamp Horizontal Max.

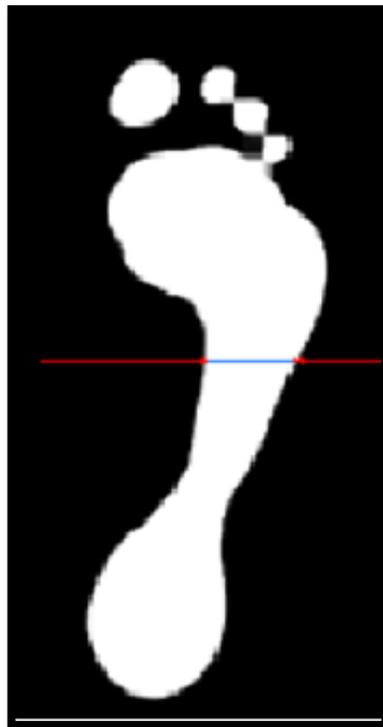


Figura 3.34b. Línea de búsqueda.

En la figura 3.35 se puede apreciar las diferentes operaciones matemáticas con las distancias X y Y para calcular el índice de la forma plantar de cada pie; además, se obtienen las coordenadas en las cuales se debe realizar estas mediciones.

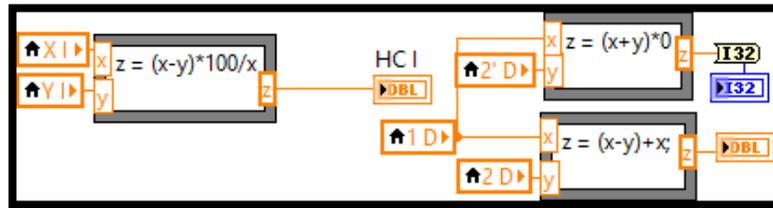


Figura 3.35. Operaciones matemáticas.

Se analiza el resultado de la operación HC (Hernandez – Corvo) para obtener la forma plantar respectiva de cada paciente (figura 3.36).

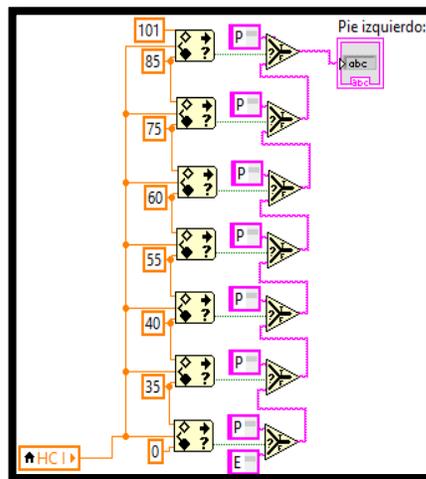


Figura 3.36. Resultados.

En la figura 3.37 se muestra los diferentes diagnósticos con sus respectivos valores según el método Hernández-Corvo.

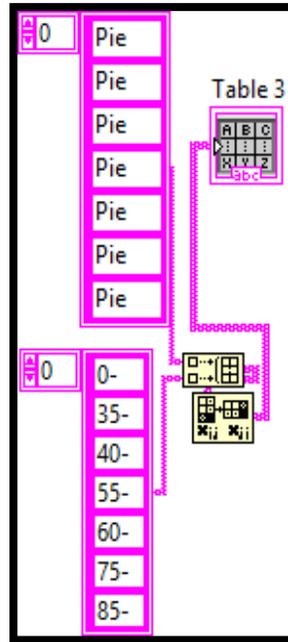


Figura 3.37. Análisis HC.

En la figura 3.38 se muestra el proceso de configuración del sistema pues la forma del pie, el peso, las presiones ejercidas y la luminosidad varían, aquí se tiene la opción de ajustar todos los parámetros antes vistos en la pantalla automático en la que el usuario pueda manipular los diferentes parámetros hasta llegar a una imagen clara para el análisis programado.

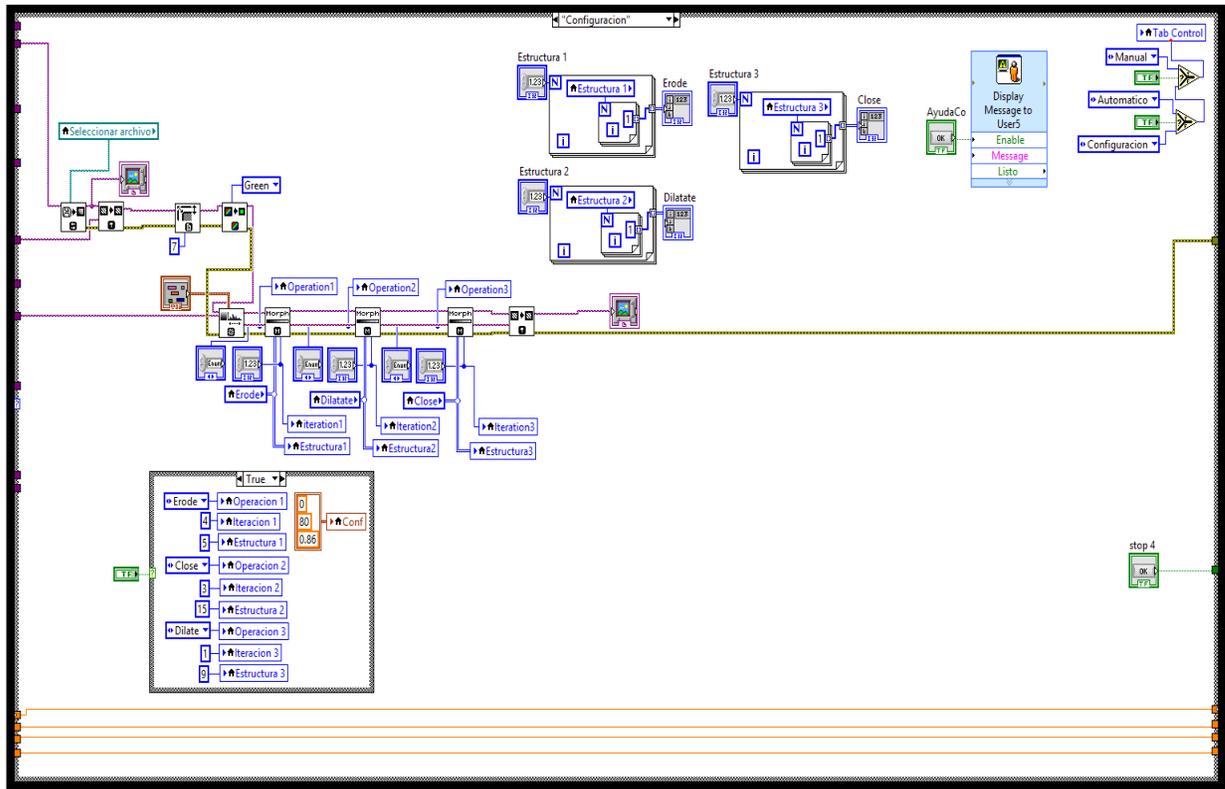


Figura 3.38. Configuración del sistema.

En la configuración del método manual (figura 3.39) lo que se pretende es dar la opción al usuario de poder seleccionar por sí mismo los puntos de referencia para obtener las medidas necesarias para la aplicación del método HC. Se usa la herramienta IMAQ Select Point (seleccionar punto) que genera una ventana diferente para ubicar los puntos manualmente.

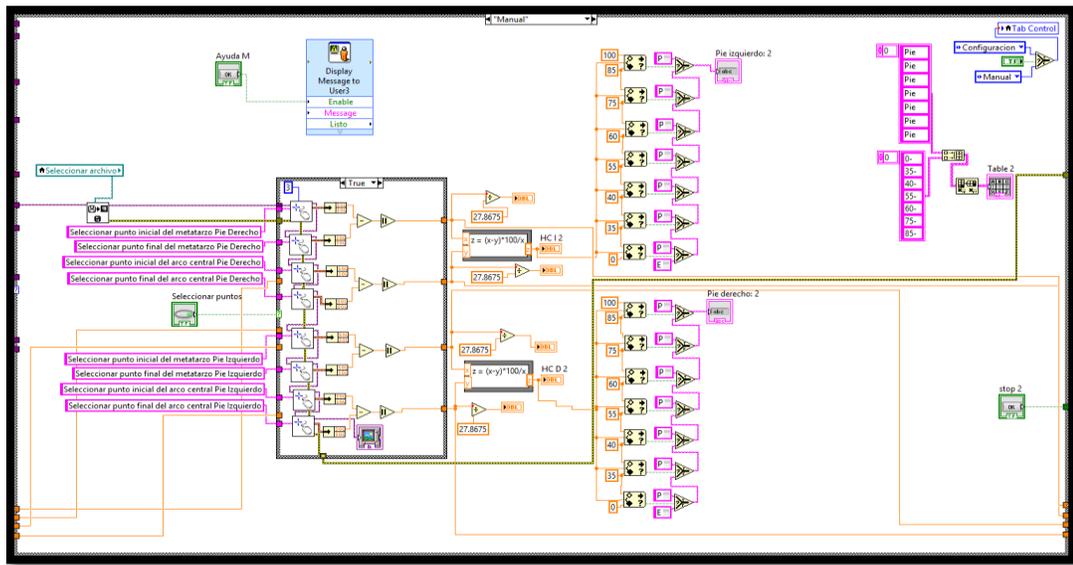


Figura 3.39. Método manual.

La selección de puntos se realiza uno a uno, la cruz verde muestra el lugar marcado (figura 3.40).



Figura 3.40. Selección de puntos, manual.

1.4 Diagramas de flujo del funcionamiento del sistema implementado

Tabla 3.1. Diagrama de flujo del procedimiento para realizar el examen médico.

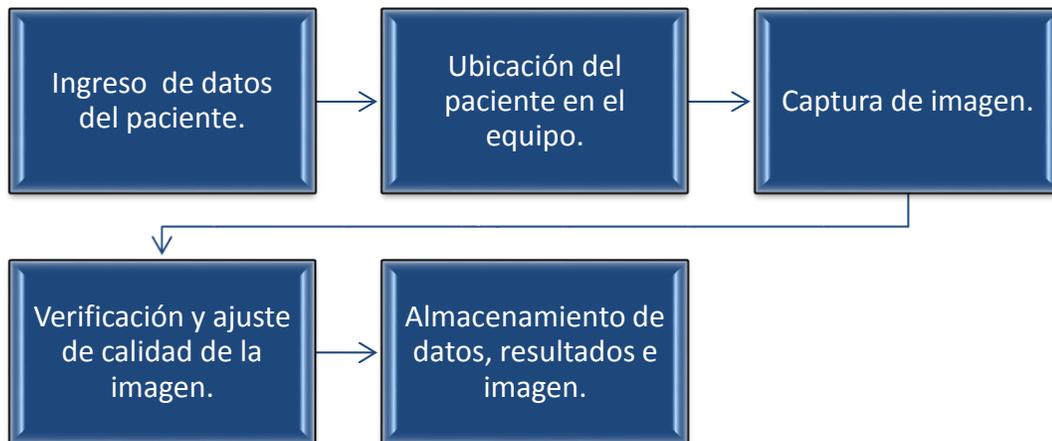
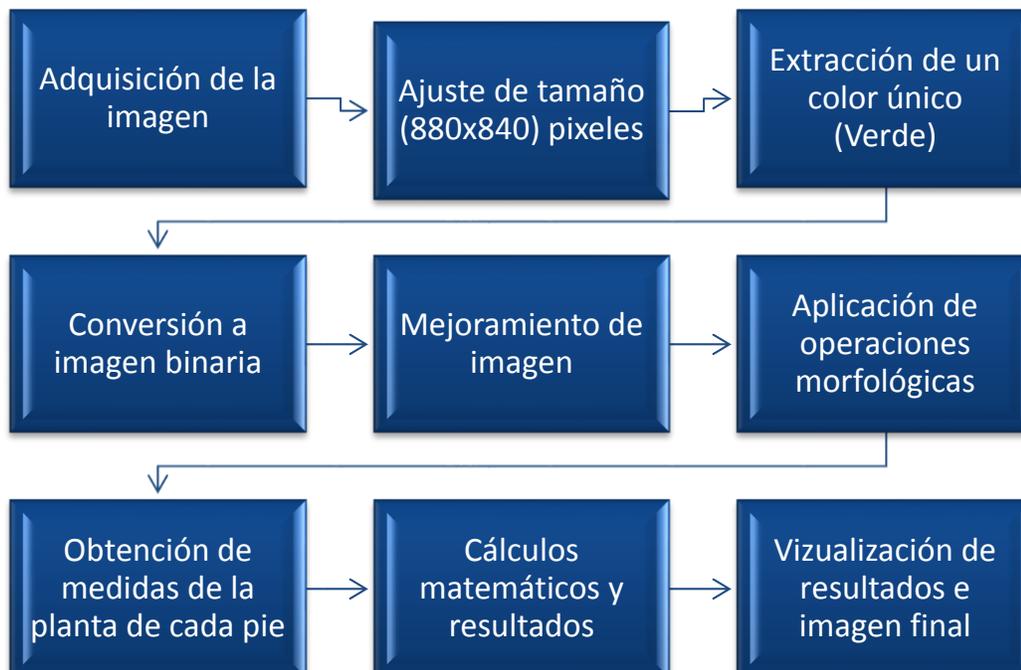


Tabla 3.2. Diagrama del flujo del funcionamiento del sistema de adquisición podomedbox.



1.5 Ventajas y desventajas del sistema implementado

En el estudio realizado se tomó una muestra de 50 pacientes para la validación del sistema, gracias a la ayuda de la fundación Casa de la Diabetes y a la Podóloga Alexandra Guerrero se analizó el método implementado en el Podomedbox (HC) comparado por el método aplicado por la Podóloga que consistía en el uso de un pedígrafo que “es un instrumento en forma de caja con dos tapas, una superior y otra inferior que al abrirlo queda como un libro y en el medio tiene una lámina de componente elástico que de la misma forma presenta dos caras, una inferior y otra superior (figura 3.41a). La cara superior es por donde el paciente apoya el pie, mientras que la inferior está impregnada uniformemente de tinta bien esparcida por un rodillo, debajo de ésta se coloca un papel blanco para que al momento de bajar la lámina el paciente apoye su pie sobre la misma, marcando su huella sobre el folio blanco (figura 3.41b).” (Ortoiberica, 2016)

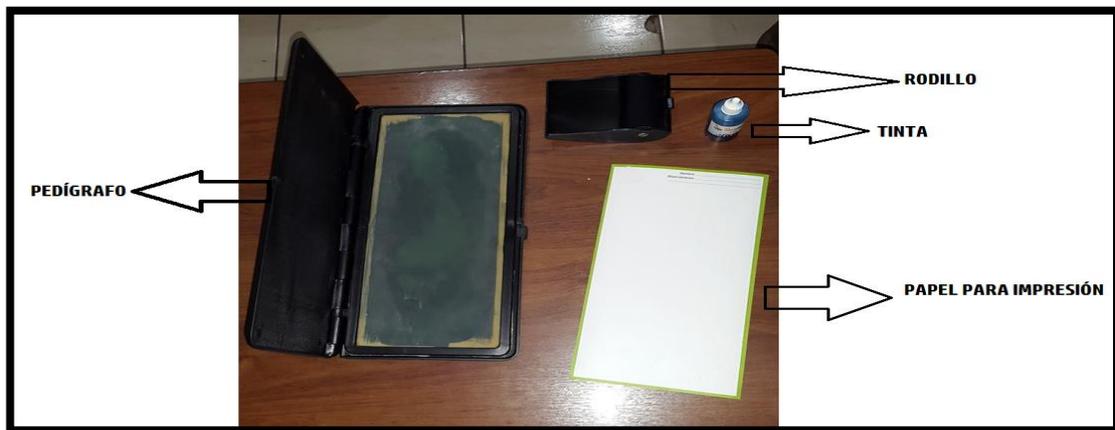


Figura 3.41a. Pedígrafo y sus elementos



Figura 3.41b. Pruebas con el pedígrafo

Tabla 3.3. Ventajas y desventajas del pedígrafo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Facilidad de movilización	Tiempo de demora de 7.20 minutos
No necesita energía eléctrica	Gasto de papel
Altura a la cual se realiza el examen al paciente	Riesgo de secado de la tinta
	Única impresión del examen en el papel
	Manchas ocasionadas en el paciente y persona que lo realiza
	Incomodidad de la persona que realiza el examen
	El examen se lo realiza por separado cada pie

Tabla 3.4. Ventajas y desventajas del equipo podomedbox

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Agilidad en el desarrollo del examen	Peso
Facilidad de corrección a los errores en la toma de muestras	Movilidad
No hay riesgo de ensuciar al paciente	
Facilidad en la limpieza	
Toma de muestras de ambos pies a la vez	
Análisis inmediatos	
Mayor veracidad en los resultados	
Tiempo de demora 28 segundos	
Comodidad del paciente y del que lo realiza el examen	

1.6 Análisis de concordancia de resultados entre el método con el pedígrafo y el sistema podomedbox

Al realizar una comparación de resultados que se obtuvieron con el método del pedígrafo y el sistema podomedbox se tiene una concordancia del 95.84% lo que significa que los resultados son bastante similares. Según la podóloga Alexandra Guerrero, las impresiones con tinta pueden ser erróneas, ya que al tomar la muestra el movimiento del pie genera áreas pintadas que no forman parte de la pisada por lo que se debe repetir la impresión (figura 3.42a). En el sistema del podomedbox la adquisición de la imagen tiene mayor precisión y exactitud pues la misma es captada en tiempo real y se realiza la captura de dicha imagen cuando el paciente está parado en posición correcta: cabeza recta, vista al frente y brazos a los costados (figura 3.42b).

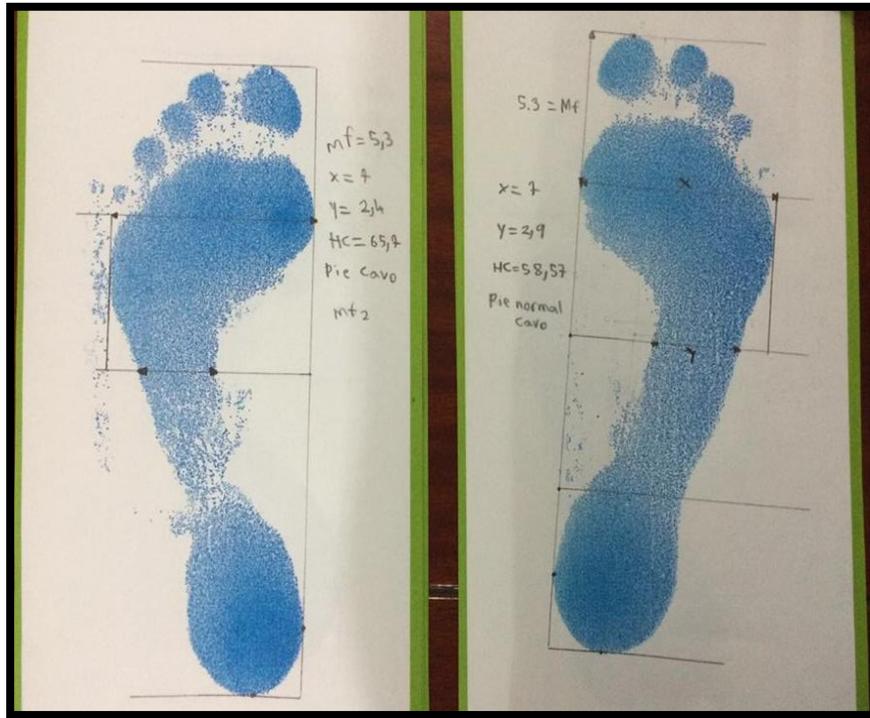


Figura 3.42a. Muestra tomada con el pedigrafo



Figura 3.42b. Muestra tomada por el podomedbox

Hay que recalcar que ambos métodos tanto con el pedígrafo como con el podomedbox producen muestras con errores las cuales modificaron los resultados del paciente. En el pedígrafo se aplicó envés de tinta aceite para evitar manchas durante el examen pero el resultado fue el mismo que con tinta (anexo 1 y anexo 2).

1.7 Datos obtenidos de la validación de pacientes

Los pacientes que se hicieron la detección plantar fueron almacenados en el sistema con sus datos personales para no alterar ninguna ficha médica ni su análisis respectivo de cada uno de ellos.

El análisis de la deformación plantar se realiza a través de la siguiente tabla de porcentajes:

Tabla 3.5. Porcentajes según la deformación plantar

TIPO DE PIE	% DEFORMACIÓN
Pie plano	0 - 34%
Pie plano/normal	35 - 39%
Pie normal	40 - 50%
Pie normal/cavo	55 - 59%
Pie cavo	60 - 74%
Pie cavo fuerte	75 - 84%
Pie cavo extremo	85 - 100%

Fuente: (R.H., 2006)

Tabla 3.6. Ficha médica 1

Nombres:	N/N
Apellidos:	N/N
Género:	Masculino
Edad:	21
Peso (Lb):	138
Calzado (EUR):	42
Tamaño (cm):	181
Fecha:	25/04/2016
Comentarios:	Diabetes hace 3 anos
Metatarso derecho:	8,89
Arco central derecho:	1,31
Índice HC derecho:	85,28
Pie derecho :	Pie cavo extremo
Metatarso izquierdo:	8,92
Arco central izquierdo:	1,77
Índice HC izquierdo:	80,1
Pie izquierdo:	Pie cavo fuerte

En la figura 3.43a se muestra la captura de la imagen por la cámara del equipo la cual mostró un enfoque del tamaño real de la planta del pie para el análisis automático del podomedbox (figura 3.43b).

La figura 3.43a muestra a simple vista que el pie tanto derecho como izquierdo son pies cavos pues la planta del pie se apoya en los talones y en el área del metatarso donde se encuentran los octetos (dedos), y deja un gran espacio en la cavidad media del pie.

En el análisis automático se observa que el índice de deformación en el que se aplica el método de Hernández - Corvo nos afirma que el pie derecho según los puntos de análisis que éste presenta tiene un índice de deformación del 79.31% el cual según la tabla 3.5 está en el rango de pie cavo fuerte y en el análisis del pie izquierdo el rango que presenta es de 84.74% que es el rango de pie cavo extremo. Según el análisis médico se podrá brindar tratamiento adecuado como es el uso de plantillas para este tipo de pie, ya que si no se trata con el tiempo puede ocasionar dolores tanto lumbares, musculares y en las rodillas como se vio en la sección anterior (capítulo 1).



Figura 3.43a. Captura de la imagen de la planta del pie.

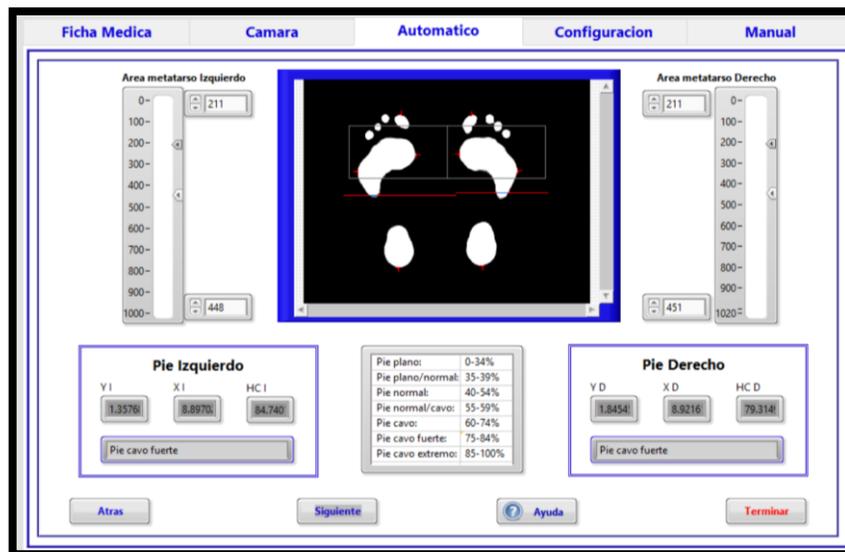


Figura 3.43b. Análisis Automático de la planta del pie y determinación del área del metatarso.

Tabla 3.7. Ficha médica 2

Nombres:	N/N
Apellidos:	N/N
Género:	Masculino
Edad:	28
Peso (Lb):	189
Calzado (EUR):	39
Tamaño (cm):	165
Fecha:	25/04/2016
Comentarios:	
Metatarso derecho:	9,01
Arco central derecho:	7,09
Índice HC derecho:	21,25
Pie derecho :	Pie plano
Metatarso izquierdo:	8,84
Arco central izquierdo:	7,87
Índice HC izquierdo:	11
Pie izquierdo:	Pie plano

Como podemos ver en la figura 3.44a y 3.44b la presión ejercida por el paciente es en toda la cavidad plantar, algunos octetos (dedos) no ejercen presión en la pisada del paciente lo cual hace pensar en un pie plano.

Hay que acotar que el paciente no presenta enfermedades ni dolores en las cavidades lumbares por el momento. Según el sistema se puede observar que el índice de deformación según el método de Hernández - Corvo que presenta el pie derecho es de 21.44% que de acuerdo a la tabla 3.5 tiene un pie plano y para el análisis del pie izquierdo el rango que presenta es de 23.31% que es un pie plano. En base al análisis médico se podrá brindar tratamiento adecuado como es el uso de plantillas para este tipo

de pie. Hay que recalcar que este tipo de pie produce molestias al realizar algunos deportes en su mayoría relacionados con el atletismo o aquellos que requieran de velocidad. Las molestias más comunes que se presentan por esta deformación son: dolor lumbar, rodillas y presencia de callos en la planta del pie, talón y dedos.



Figura 3.44a. Captura de la imagen de la planta del pie

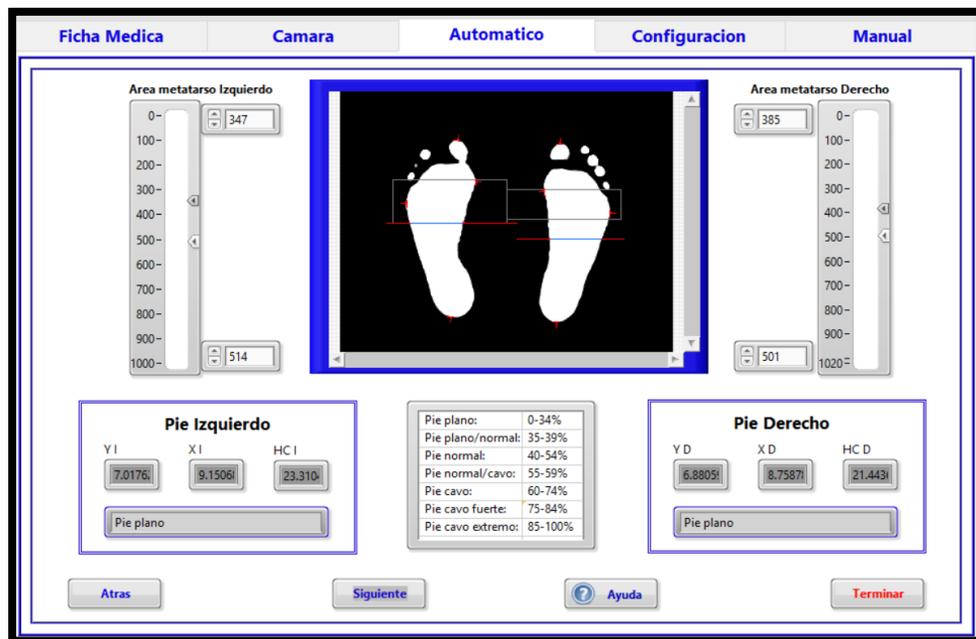


Figura 3.44b. Análisis automático de la planta del pie y determinación del área del metatarso.

Tabla 3.8. Ficha médica 3

Nombres:	N/N
Apellidos:	N/N
Género:	Masculino
Edad:	23
Peso (Lb):	133
Calzado (EUR):	38
Tamaño (cm):	162
Fecha:	25/04/2016
Comentarios:	
Metatarso derecho:	9,03
Arco central derecho:	2,68
Índice HC derecho:	70,32
Pie derecho :	Pie cavo
Metatarso izquierdo:	9,11
Arco central izquierdo:	4,06
Índice HC izquierdo:	55,41
Pie izquierdo:	Pie normal/cavo

En los diferentes análisis que se han realizado a cada paciente se debe tener en cuenta si ha sufrido algún problema en las diferentes zonas del cuerpo ó si está pasando por un problema de salud como es la diabetes.

El análisis visto en la figura 3.45a y 3.45b determina que presenta en el pie derecho un índice de deformación del 54.58% que de acuerdo a la tabla 3.5 está en el rango de un pie cavo, aunque supera con un valor mínimo el rango de pie normal. En el pie izquierdo presenta un índice de deformación del 66.23% presentando un pie cavo.



Figura 3.45a. Captura de imagen de la planta del pie

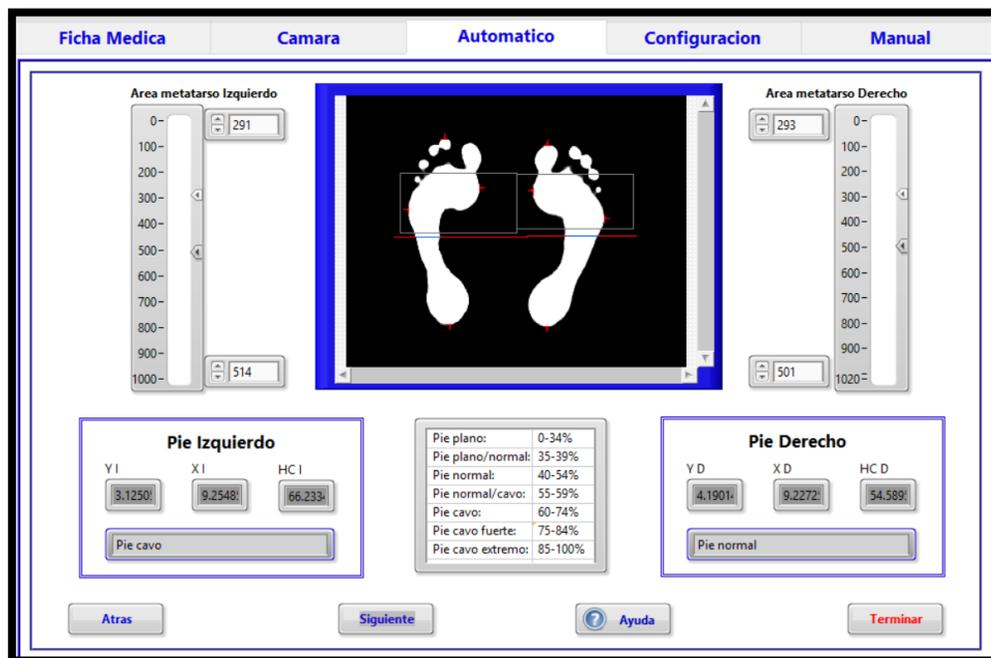


Figura 3.45b. Análisis automático de la planta del pie y determinación del área del metatarso.

Caso especial

En la toma de muestras de los 50 pacientes realizados que se realizó se encontró a un niño de un año cuyas pisadas estaban en formación lo cual es muy satisfactorio realizar un análisis de deformación plantar para poder tratar y curar si existe alguna anomalía.

Hay que recalcar que “el crecimiento de los pies de los bebés y niños es rápido, aunque no constante. Hemos de saber que cada talla de calzado infantil es 6 milímetros mayor que la anterior, y que los huesos de los pies crecen hasta los 14 - 16 años de vida antes de osificarse completamente. Durante los primeros 15 meses de vida el pie crece aproximadamente medio número (3 milímetros) cada dos meses; de los 15 meses a los 2 años, medio número cada tres meses; y de los 2 a los 3 años, medio número cada tres o cuatro meses. Por tanto hay que poner atención para no alargar demasiado el uso de los zapatos para evitar que les queden pequeños y sean de la talla adecuada, ya que deben permitir el movimiento del pie para que éste crezca sin dificultades.” (Paris, 2009)

El análisis se realizó con ayuda de sus padres puesto que aún no podía mantenerse de pie por sí solo. En la figura 3.46a se puede apreciar que la pisada del niño es muy pequeña y se ve como la bóveda plantar del pie izquierdo no está generando una presión adecuada.



Figura 3.46a. Captura de la imagen de la planta del pie

En la figura 3.46b se observa que el índice de deformación según la tabla 3.5 el pie izquierdo tiene un 22.17% de deformación lo cual pertenece a un pie plano, mientras que el pie derecho tiene un porcentaje de deformación de 23.41% dando como resultado un pie plano.

El tratamiento es muy importante ya que a esta edad el pie del niño recién va a tomar forma y se puede solucionar el problema de pisada que éste tiene haciendo uso de plantillas y un calzado adecuado para su tipo de pie.

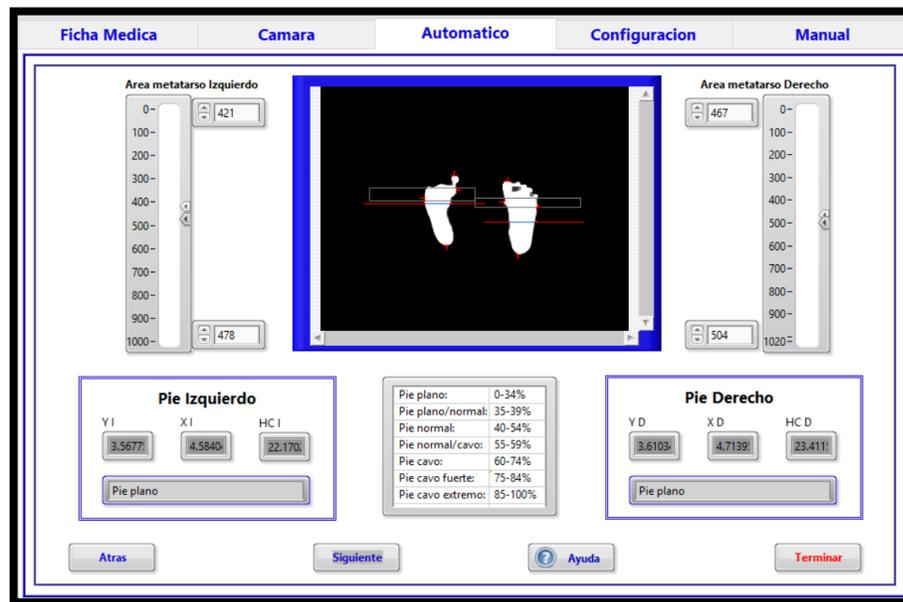


Figura 3.46b. Análisis automático del sistema y detección de la deformación plantar

OTROS EJEMPLOS DE ANALISIS:

En la figura 3.47a y 3.47b se muestra la bóveda plantar de la paciente y se ve que el resultado de índice de deformación en el pie derecho es de 44.66% y en el pie izquierdo es de 46.67% generando que ambos pies son normales lo cual nos lleva a concluir que su pisada es bastante buena y el calzado que usa es el adecuado, sin embargo, se puede

observar que la presión en ciertos octetos (dedos) no se realiza adecuadamente en el pie derecho.

Según las muestras tomadas el pie con mayor frecuencia de índice de deformación en los 50 pacientes es el pie cavo con sus derivaciones puesto que la mayoría de pacientes realizaban deportes y se mantenían activos gran parte del tiempo.

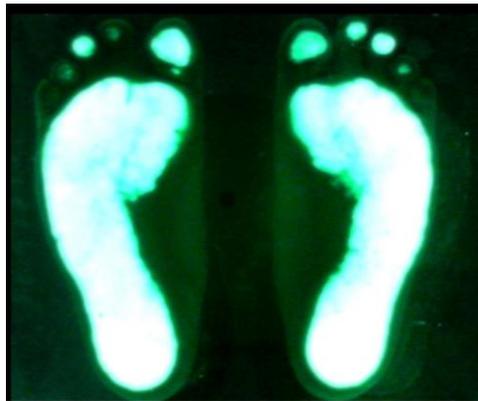


Figura 3.47a. Captura de la bóveda plantar del pie de una paciente.

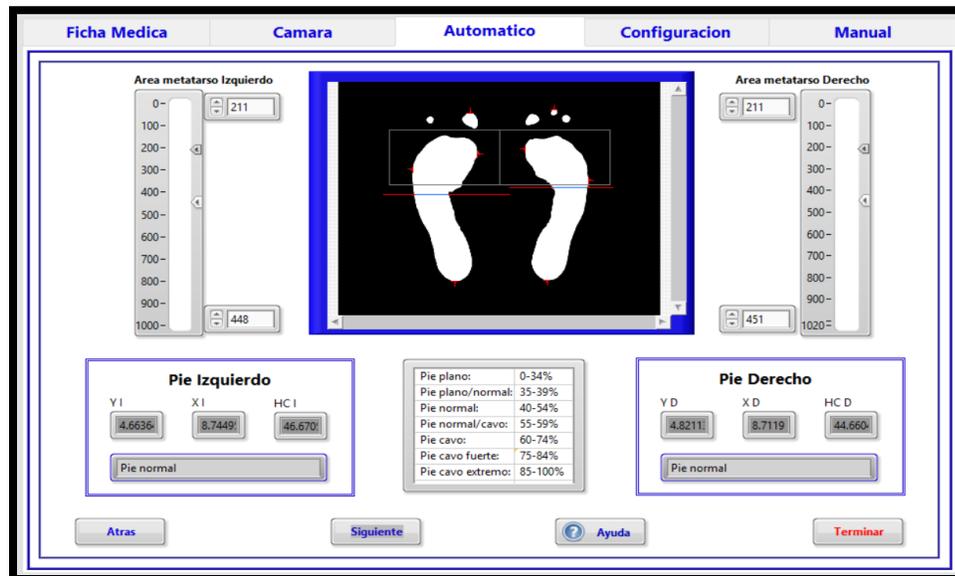


Figura 3.47b. Análisis de la deformación plantar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Al concluir este proyecto se observa que el estudio de la podología está creciendo a nivel mundial forjando nuevas ideas y proyectos en el ámbito de la biomedicina como es el podoscopio y el baropodómetro.
- Con respecto al equipo podomedbox se pudo concluir que los resultados obtenidos por éste son de mayor exactitud y precisión que los utilizados por el pedígrafo, ya que el análisis de cada paciente se lo hace en tiempo real aplicando el método de Hernandez – Corvo el cual nos da una visión total de la bóveda plantar.
- Hay que recalcar que el equipo podomedbox a comparación del pedígrafo brinda mayor comodidad al paciente y a la persona que realiza el examen, además, no ocasiona manchas en el transcurso del mismo. El tiempo de duración del examen es mucho más corto comparado con el pedígrafo pues se demora 8 segundos al realizarlo, otro punto de importancia es que el sistema incorporado al equipo nos permite de una manera sencilla corregir la toma de muestras de los pies.

Recomendaciones:

- La recomendación para el desarrollo del examen médico es que el paciente debe estar en una ubicación correcta de la siguiente manera: posición firmes, manos en los costados y la vista al frente para que no haya ninguna variación al momento de obtener los resultados.
- El equipo debe estar ubicado en un lugar donde no influya mucha iluminación del ambiente puesto que puede ocasionar interferencia al momento de realizar el examen.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandra La Cruz, A. L. (2014). *Clinical validation of footprint analysis using the low cost Photo-podoscope*. Cuenca: MASKANA.
- ALUCORE. (02 de ABRIL de 2015). ALUCOBOND. (PRODUCTOR DE ALUMINIO) Recuperado el 27 de ABRIL de 2016, de <http://www.alucobond.com/alucore-technical-data.html?&L=4>
- AMEVEC. (9 de Octubre de 2014). AMEVEC. Recuperado el 28 de Marzo de 2016, de <http://amevec.mx/publicaciones/AMEVEC-BoletinVidrioTemplado.pdf>
- Bayas, T. M. (2015). SEGMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS MEDIANTE. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- bienestar, d. s. (04 de septiembre de 2015). dmedicina. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de <http://www.dmedicina.com/enfermedades/enfermedades-del-pie/pies-planos.html>
- Chitsakul, K., & Laowattanatham, N. (2014). *Smart digital podoscope for foot deformity assessment*. Tailandia: IEEE Conference Publications.
- Costa Comunicaciones. (1 de enero de 2007). Recuperado el 2015, de http://www.costacomunicaciones.es/vytal/noticia_malposiciones_pies_varo_con_genito_157.html
- Coto, E. (2003). *Métodos de Segmentación de Imágenes Médicas*. Caracas: Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Computación.
- DMEDICINA. (16 de septiembre de 2015). DMEDICINA. Recuperado el 15 de diciembre de 2015, de <http://www.dmedicina.com/enfermedades/enfermedades-del-pie/pies-cavos.html>
- E., L. F. (2007). *Estudio para el diseño de un Sistema Baropodométrico Electrónico*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Fontecha, D. C. (Agosto de 2004). *Traumatología Infantil. (Ortopedia Pediátrica)* Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de http://www.traumatologiainfantil.com/es/pie/fibroma_plantar
- Fontecha, D. C. (marzo de 2012). *traumatologia infantil*. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de http://www.traumatologiainfantil.com/es/pie/pies_planos

- Fontecha, D. C. (Noviembre de 2013). traumatologia infantil. Obtenido de http://www.traumatologiainfantil.com/es/pie/pie_equinovaro
- Fresno, B. d. (13 de junio de 2013). cdeportes. (cdeportes) Recuperado el 12 de mayo de 2016, de <http://cdeporte.rediris.es/revista/inpress/artalteraciones340.pdf>
- GENIUS. (2011). GENIUS LIVE WITH IDEAS. Recuperado el 09 de ABRIL de 2016, de <http://www.geniusnet.com/Genius/wSite/ct?xItem=48725&ctNode=1304&mp=3>
- Gomes, L., & Scremim, R. (2013). *Biofeedback baropodometry training evaluation: A study with children with equinus foot deformity*. IEEE Conference Publications.
- Gonzales, W. (10 de Agosto de 2014). Slideshare. Obtenido de <http://es.slideshare.net/wanderlygb/anatomia-osea-del-pie>
- González-Vallarino. (2010). ACTIVIDAD CIENTÍFICA ESPAÑOLA EN EL ÁREA DE PODOLOGÍA. ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO. madrid: FACULTAD DE MEDICINA Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública.
- Herrera, R. (2003). Diseño y construcción de un podómetro. Mexico D.F.: Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica.
- ILUMINET. (2014). ILUMINET. Recuperado el 10 de ABRIL de 2016, de <http://www.iluminet.com/tiras-led/>
- IMMAKA. (03 de abril de 2014). IMMAKA. (Importador de Laminas de Alucobond Policarbonato Acrílico Gypsum y Accesorios de Aluminio y Vidrio) Recuperado el 27 de abril de 2016, de <http://immaka.com/que-es-el-alucobond/>
- INDUSTRIAL, U. N.-I. (AGOSTO de 2005). VISION ARTIFICIAL - OPERACIONES MORFOLÓGICAS EN IMÁGENES BINARIAS. Recuperado el 10 de MAYO de 2016, de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Operaciones%20Morfol%C3%B3gicas%20en%20Im%C3%A1genes%20Binarias%20-%20parte%201.pdf>
- Lenin Edwin Gordillo Erazo, J. L. (2009). Aplicacion de vision con LabVIEW para la deteccion de frascos con turbiedades. Guayaquil: Escuela superior politecnica del litoral.
- Mery, D. (2002). Visión Artificial. Santiago: Universidad de Santiago de Chile.
- NARVAEZ, I. D. (19 de NOVIEMBRE de 2013). CRISTALERÍA NARVAEZ. Recuperado el 10 de ABRIL de 2016, de

<http://cristalernasarvaez.blogspot.com/2012/04/vidrio-laminado-y-vidrio-templado.html>

ORTOIBERICA. (12 de SEPTIEMBRE de 2015). Recuperado el 15 de DICIEMBRE de 2015, de http://www.ortoiberica.es/ortopedia-protésica-exógena-ortésica/pies/pie-varo_5797_802_8375_0_1_in.html

Ortoiberica. (2016). Recuperado el 29 de abril de 2016, de Ortoiberica: http://www.ortoiberica.com/ortopedia-protésica-exógena-ortésica/podología/pedigráficos-y-podoscopios_113_1_ap.html

Paris, E. (abril de 2009). bebes y mas. (bebes y mas) Recuperado el 10 de mayo de 2016, de <http://www.bebesymas.com/desarrollo/cuanto-crece-el-pie-de-los-ninos>

Peña, A. (2007). Atlas de Dermatología del pie. Madrid: Editorial Medica Panamericana.

Podológico, C. (9 de septiembre de 2014). Centro Podológico. Recuperado el 15 de diciembre de 2015, de <http://www.centropodologico.com.ar/fascitis.htm>

R.H., H. G. (01 de septiembre de 2006). cdeporte. Obtenido de cdeporte: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista23/artpieplano.htm>

RESIDENCIAL, I. L. (23 de FEBRERO de 2016). ILUMINACIÓN LED RESIDENCIAL. (PRODUCTOR DE LEDS) Recuperado el 27 de ABRIL de 2016, de <https://iluminacionledresidencial.com/category/iluminacion-interior/>

runner, b. d. (2015). blog del runner. Recuperado el 17 de Noviembre de 2015, de <http://www.blogdelrunner.com/runner-conoces-tus-pies/>

wikipedia. (19 de julio de 2015). wikipedia.org. Recuperado el 15 de 12 de 2015, de https://es.wikipedia.org/wiki/Pie_equinovaro#Tratamiento

ANEXOS

Anexo 1: Muestras tomadas con manchas por el pedígrafo



**MUESTRA CON
ACEITE**

Anexo 2. Muestra mal tomada por el podomedbox

