UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE LAS PRESIONES PLANTARES EN ESTÁTICA BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES”

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Electrónico.

AUTORES:

JUAN CARLOS CARREÑO ABAD.

PABLO TEODORO CABRERA SÁENZ.

DIRECTOR:

ING. PATRICIO FERNANDO URGILÉS ORTIZ.

CUENCA, Diciembre 2014

Breve reseña de los autores e información de contacto.

Juan Carlos Carreño Abad

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

Universidad Politécnica Salesiana

jcarreno@est.ups.edu.ec

Pablo Teodoro Cabrera Sáenz

Estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

Universidad Politécnica Salesiana

pcabrera@est.ups.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda prohibida, salvo la excepción prevista por la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la debida autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constituida de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación de los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2014 Universidad Politécnica Salesiana.

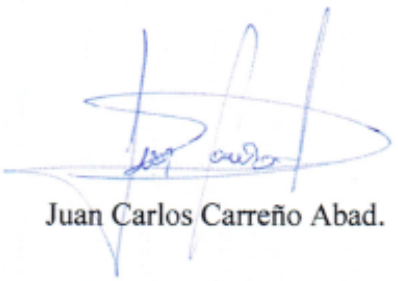
CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.

Se declara bajo juramento que el presente trabajo es de exclusiva responsabilidad de los autores; que no ha sido previamente para ningún grado o calificación personal; y que los conceptos desarrollados han sido tomados de las referencias bibliográficas que se adjuntan en el presente documento.

La Universidad Politécnica Salesiana, puede hacer uso de los derechos correspondiente al presente trabajo de tesis, según los establecido por la Ley de propiedad intelectual, para fines educativos.

Cuenca, diciembre del 2014



Juan Carlos Carreño Abad.

Pablo Teodoro Cabrera Sáenz.

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores JUAN CARLOS CARREÑO ABAD y PABLO TEODORO CABRERA SÁEZ, bajo mi supervisión.

Cuenca, Diciembre del 2014

Ing. Fernando Patricio Urgiles

Director de Tesis.

DEDICATORIA

Quiero dedicar la presente Tesis a mi querida Esposa Jenny que con su apoyo y confianza me ha demostrado su amor incondicional, a mi tierna Hija Miley Valentina que con su presencia me ha dado fuerzas para luchar, en fin esto es por mis dos amores quienes han sido el pilar fundamental para cumplir mis metas.

A mis queridos padres Carmen Abad y Angel Carreño por brindarme siempre su apoyo, por darme siempre su ejemplo de perseverancia, humildad y dedicación para llegar a las metas planteadas.

A todos mis hermanos quienes han confiado en mi, han contribuido en mi crecimiento personal, moral y por su apoyo incondicional.

Por ultimo a toda mi familia, mis suegros por su constante apoyo y motivación para no decaer, ni rendirme en el amplio camino de la carrera Universitaria.

JUAN CARLOS

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi camino y haberme guiado a lo largo de mi carrera por darme la sabiduría para superar los problemas presentados y por brindarme una vida llena de experiencias que me ha dejado muchas enseñanzas.

A mi querida esposa, hija, padres y hermanos por estar conmigo y haberme brindado su apoyo y confianza.

Al Ingeniero Fernando Urgiles por su apoyo y paciencia al colaborar en el desarrollo de la presente tesis.

JUAN CARLOS

DEDICATORIA

.

Dedico este logro a toda mi familia, sin su ayuda, esto no habría sido posible

PABLO TEODORO

AGRADECIMIENTO

A mis padres Laura y José quienes con su dedicación y paciencia han sido parte fundamental para la conclusión de esta etapa de mi vida. A todos mis hermanos quienes siempre me brindaron su ayuda y apoyo, y a todos los amigos con los que compartí este camino.

A la Universidad Politécnica Salesiana, a la facultad de ingenierías, a todos sus profesores y especialmente al Ing. Fernando Urgilés, asesor de la presente tesis.

PABLO TEODORO

RESUMEN

En el presente proyecto de tesis, se muestra el diseño e implementación de un sistema que permite la obtención de la impresión plantar para luego realizar el procesamiento y obtener la distribución de presiones sobre la superficie plantar del pie, valorar las dimensiones del pie para obtener su índice de cavidad y poder determinar el tipo de pie.

La tesis se encuentra dividida en cinco capítulos, el primer capítulo trata sobre los Fundamentos Básicos del Pie Humano, la misma que consta de un pequeña introducción sobre la anatomía del pie, su función principal, su estructura, para así llegar a determinar los diferentes tipos de patologías que inciden directamente en el funcionamiento del pie, de igual manera realizamos un análisis de la medición de las fuerzas plantares para poder realizar una valoración fiable del pie, y por último el estudio de los mecanismo de evaluación de la superficie plantar. El segundo capítulo es el desarrollo del sistema a implementar, cuyo sistema escogido es el podómetro electrónico con el principio de la refracción total interna, para lo cual se realizó el diseño respectivo de la estructura, para luego realizar un análisis estructural de todo el sistema de soporte, así mismo el diseño del sistema de captura de imagen, entendiendo su proceso físico. En el tercer capítulo, se presenta el diseño del software, en donde describimos la digitalización y los algoritmos utilizados para la implementación del procesamiento morfológico de las imágenes en la plataforma Matlab 2013b y por ultimo describir las normas a seguir dentro del proceso de acción del podómetro electrónico y la elaboración del protocolo. En el cuarto capítulo, se destina al desarrollo de las pruebas de funcionamiento en donde se realizan pruebas en el equipo planteado para luego dar una validación del pie en base al análisis propuesto y esta a su vez corroborar con el análisis de un profesional. En el último capítulo se da a conocer las respectivas conclusiones, recomendaciones y por último se presenta la bibliografía utilizada en la presente investigación. La validación muestra la similitud entre los resultados del profesional y los obtenidos del equipo planteado, dando evidencia del buen uso de los procedimientos realizados en el proceso del análisis de la superficie plantar, permitiendo así dar repetitividad de

resultados en el equipo, que de acuerdo a las pruebas realizadas, nuestro equipo tiene un 90% de confiabilidad.

Palabras Clave: Indice de Cavidad. Fuerzas Plantares. Refracción Total Interna. Podómetro Electrónico. Procesamiento Morfológico de las Imágenes.

ABSTRACT

In this thesis project, the design and implementation of a system that allows the production of printing plant and then perform processing and get the pressure distribution on the plantar superfices the foot, assess the dimensions of the foot for index shows cavity and determine your foot type.

The thesis is divided into five chapters, the first chapter discusses the Basics of Human Foot, it consists of a short introduction to the anatomy of the foot, its main function, structure, thus able to determine the different types pathologies that directly affect the functioning of the foot, just as we perform an analysis of the measurement of plantar forces to make a reliable assessment of the foot, and finally the study of the mechanism for evaluating the plantar surface. The second chapter is the development of the system to be implemented, the system chosen is the electronic pedometer with the principle of total internal refraction, for which the respective design of the structure was performed, then undertake a structural analysis of the entire system support, also the system design image capture and understood physical process. In the third chapter, software design, where we describe the digitization and algorithms used for the implementation of morphological image processing in Matlab 2013b platform and finally describe the rules to be followed in the process of action of the pedometer is presented address and protocol development. In the fourth chapter is devoted to the development of performance testing where tests are performed in the raised equipment then give a standing validation based on the proposed and this in turn corroborated by the analysis of a professional analysis. In the last chapter discloses the respective conclusions, recommendations and finally the literature used in this research is presented. .

The validation shows the similarity between the results obtained from professional and raised team, giving evidence of good use of procedures performed in the process of analyzing the plantar surface of another, providing repeatability of results on the computer, according the finality test the pedometer is 90% of confiability.

Keywords: Index cavity. Plantar forces. Total Internal Refraction. Electronic Pedometer. Morphological Processing of Images.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I _____ 1

FUNDAMENTOS BASICOS DEL PIE HUMANO _____ 1

1.1 EL PIE Y SU ESTRUCTURA _____ 1
1.1.1 Funciones del Pie. _____ 2
1.1.2 Anatomía del Pie _____ 4
1.1.3 Proceso del Pie en marcha _____ 9
1.1.4 Antropometría del Pie _____ 10

1.2 PATOLOGÍAS DEL PIE _____ 12
1.2.1 Pie Plano _____ 14
1.2.2 Pie Plano Normal _____ 14
1.2.3 Pie Normal _____ 15
1.2.4 Pie Normal Cavo _____ 15
1.2.5 Pie Cavo _____ 16
1.2.6 Pie Cavo Fuerte _____ 16
1.2.7 Pie Cavo Extremo _____ 17

1.3 MEDICION DE LAS FUERZAS PLANTARES _____ 17
1.3.1 Podómetro Cualitativo _____ 18
1.3.2 Podómetro Cuantitativo _____ 20

1.4 INSTRUCCIONES PARA LA VALORACION DEL PIE _____ 24
1.4.1 Procedimiento _____ 25

1.5 ANALISIS DEL MECANISMO DE EVALUACION _____ 29

CAPÍTULO II _____ 31

DESARROLLO DEL SISTEMA A IMPLEMENTAR _____ 31

2.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PLATAFORMA _____ 31
2.1.1 Propiedades del Vidrio _____ 32

2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SOPORTE BASE _____ 34
2.2.1 Multiframe 4D _____ 34

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTURA DE LA IMAGEN _____ 38
2.3.1 Proceso Físico _____ 39
2.3.2 Cámara Web _____ 40
2.3.3 Espejo _____ 41
2.3.4 Manta _____ 41
2.4 PODÓMETRO ELECTRONICO PLANTEADO _____ 42
2.4.1 Podómetro Planteado _____ 43
2.4.2 Metodología _____ 44

CAPÍTULO III _____46

DISEÑO DEL SOFTWARE _____46

3.1 ADQUISICION DE LAS IMÁGENES _____47
3.1.1 Captura – Calibración de la Imagen _____47
3.1.1.2 Calibración de la Cámara _____ 49

3.2 DIGITALIZACION DE LAS IMÁGENES _____ 52
3.2.1 Segmentación de los Pies _____ 53

3.3 PROCESAMIENTO MORFOLÓGICO DE LAS IMÁGENES _____60
3.3.1 Tipo de Pie _____60
3.3.2 Presiones Plantares _____64

3.4 NORMAS Y ESTÁNDARES _____69
3.4.1 Descripción Física _____ 69
3.4.2 Interfaz del Programa _____71

3.5 ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO _____ 73

CAPÍTULO IV _____74

DESARROLLO DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO _____74

4.1 PRUEBAS DEL HARDWARE _____74

4.2 PRUEBAS DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES_____76
4.2.1 Calibración de la Imagen_____ 76
4.2.2 Captura de la Imagen _____78
4.2.3 Procesamiento de la Imagen _____ 80
4.2.4 Repetitividad de Resultados _____ 83

4.3 VALORIZACIÓN DEL PIE CON EL ANALISIS IMPLEMENTADO ___88

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS _____92

CAPÍTULO V _____96

CONCLUSIONES RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFIA _____96

5.1 CONCLUSIONES _____96
5.2 RECOMENDACIONES _____98
5.3 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS UTILIZADAS _____99

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1 Estructura ósea y muscular de la pierna humana……..2
Figura 1.2 El Pie Humano la composición. ……..2
Figura 1.3 Estructura de la Bóveda plantar……..3
Figura 1.4 Distribución ósea del pie ……..6
Figura 1.5 Músculos del pie ……..8
Figura 1.6 Vascularización del pie ……..9
Figura 1.7 Media longitudinal entre hombres y mujeres ……..11
Figura 1.8 Resultado Pie cavo en hombres y mujueres ……..12
Figura 1.9 Resultado Pie Plano en Hombres y Mujeres ……..12
Figura 1.10 Resultado Pie Normal en Hombres y Mujeres ……..12
Figura 1.11 Pie plano ……..14
Figura 1.12 Pie plano normal ……..15
Figura 1.13 Pie normal ……15
Figura 1.14 Pie normal cavo ……..15
Figura 1.15 Pie cavo ……16
Figura 1.16 Pie cavo fuerte ……..17
Figura 1.17 Pie cavo extremo. ……..17
Figura 1.18 Podoscopio ……..19
Figura 1.19 Impresión de tinta sobre papel ……19
Figura 1.20 Impresión con yeso ……20
Figura 1.21 Análisis plantar baropodómetro electrónico ……21
Figura 1.22 Análisis plantar plataforma electrónica ……..22
Figura 1.23 Podómetro Piedica ……23
Figura 1.24 Podómetro Emed ……23
Figura 1.25 Plantilla Tekscan ……23
Figura 1.26 Plataforma de presión Tekscan ……24
Figura 1.27 Paso 1 ……25

Figura 1.28 Paso 2 ……25
Figura 1.29 Paso 3 ……25
Figura 1.30 Paso 4 ……26
Figura 1.31 Paso 5 ……26
Figura 1.32 Paso 6 ……27
Figura 1.33 Paso 7 ……27
Figura 1.34 Evaluación de la huella plantar según el protocolo de H. Corvo.. ……28

CAPITULO II

Figura 2.1 Diseño estructural del podómetro propuesto ……32
Figura 2.2 Resistencia a la flexión. ……33
Figura 2.3 Elemento refractante ……33
Figura 2.4 Estructura inicial podómetro ……35
Figura 2.5 Estructura con cargas ……35
Figura 2.6 Estructura de forma lineal ……36
Figura 2.7 Resultado de esfuerzo en el punto 5 - 6 ……37
Figura 2.8 Puntos críticos de la estructura ……37
Figura 2.9 Diseño estructural ……38
Figura 2.10 Representación de los principios físicos separación plástico – acrílico ……40
Figura 2.11 Forma de obtener la imagen ……40
Figura 2.12 Sistema de la captura de Imagen ……41
Figura 2.13 Diagrama a bloques del sistema ……43

CAPITULO III

Figura 3.1 Esquema General del Equipo ……46
Figura 3.2 Esquema de la postura del paciente. ……47
Figura 3.3 Forma de captura, disposición de la cámara. ……48
Figura 3.4 Imagen Capturada ……48
Figura 3.5 Ubicación de los Círculos en la Zona de pisada. ……49
Figura 3.6 Diferencia entre imagen con y sin distorsión ……50
Figura 3.7 Interfaz de la etapa de calibración. ……51
Figura 3.8 Forma como se Digitaliza las Imágenes ……52
Figura 3.9 Selección manual de puntos ……54
Figura 3.10 Parte superior del pie derecho binarizada ……54
Figura 3.11 Puntos buscados sobre la imagen erosionada y luego dilatada……55
Figura 3.12 Imagen binarizada 9x7 pixeles. ……55
Figura 3.13 Determinación del punto superior. ……56
*Figura 3.1 4*Puntos dentro del pie. ……56
Figura 3.15 Puntos para determinar ROI. ……57
Figura 3.16 Imagen Segmentada ……58
Figura 3.1 7 Forma de obtener IC, principio de H. Corvo. ……60

Figura 3.18 Aplicación del ecuación de la recta. ……61
Figura 3.19 Imagen Resultante ……62
Figura 3.20 Imagen segmentada Escala de grises ……64
Figura 3.21 Espectro RGB ……65
Figura 3.22 Asignación del Pseudocolor ……66
Figura 3.23 resultado de aplicar Pseudocolor a la imagen plantar. ……66
Figura 3.24 Imagen de la superficie Plantar. ……68
Figura 3.25 Podómetro Electrónico MV7000……69
Figura 3.26 Conectividad entre Equipo y PC ……70
Figura 3.127 Ventana principal del Software. ……71
Figura 3.28 Interfaz de calibración. ……72
Figura 3.29 Interfaz del procesamiento ……72

CAPITULO IV

Figura 4.1 Zona de Pisada ……74
Figura 4.2 Podómetro Electrónico MV 7000. ……74
Figura 4.3 Ubicación de la Cámara y Espejo……75
Figura 4.4 Ubicación del paciente……75
Figura 4.5 Interfaz Equipo - PC ……76
Figura 4.6 Ubicación de las figuras Geométricas. ……76
Figura 4.7 .Interfaz de la calibración……77
Figura 4.8 Ejecución de la Interfaz de calibración ……77
Figura 4.9 Comprobación en Pixeles de la Ejecución de la Interfaz de calibración……78
Figura 4.10 Interfaz del Procesamiento……78
Figura 4.11 Forma en la que el paciente se ubica en la Zona de Captura ……79
Figura 4.1 2Forma en la que se ubican los pies. ……79
Figura 4.13 Tapado de los pies e impresión plantar obtenida ……79
Figura 4.14 Forma en la que se Segmenta la Imagen. ……80
Figura 4.15 Resultado de la Segmentación de la Imagen……80
Figura 4. 16Resultado del Área de Presión. ……81
Figura 4.17 Resultado del IC Derecho ……81
Figura 4.18 Resultado del IC Izquierdo ……82
Figura 4.19Superficie plantar. ……82
Figura 4.20 Áreas de Presión, Tomadas en mismo Paciente ……84
Figura 4.21 Resultados del Pie Derecho. ……85
Figura 4.22 Resultados del Pie Izquierdo ……85
Figura 4.23 Resultados del Pie Derecho ……85
Figura 4.24 Resultados del Pie Izquierdo.……86
Figura 4.25 Gráfica del Pie Derecho. ……87
Figura 4.26 Gráfica del Pie Izquierdo ……87
Figura 4.27 Gráfica de Resultados. ……88

Figura 4.28 Paciente 1……..…….89
Figura 4.29 Muestra de resultados Paciente 1. ……..89
Figura 4.30 Muestra de resultados Pie derecho. ……..…….89
Figura 4.31 Muestra de resultados Pie izquierdo ……..……..90
Figura 4.32 Muestra de resultados Paciente 14……..90
Figura 4.33 Muestra de resultados Pie derecho……..90
Figura 4.34 Muestra de resultados Pie izquierdo……91
Figura 4.35 Muestra de resultados Paciente 13……..91
Figura 4.36 Muestra de resultados Pie derecho……..91
Figura 4.37 Muestra de resultados Pie izquierdo ……..92
Figura 4.38 Zonas del pie a ser Evaluadas ……..93
Figura 4.39 Exploraciones del profesional. ……..93
Figura 4.40 Exploraciones del profesional. ……..94
Figura 4.41 Exploraciones del profesional. ……..94

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS A

RESULTADOS DE REPETITIVDAD

Anexo A.1: Paciente 14……100

ANEXOS B

ANALISIS DE RESULTADOS ENTRE EL PODOMETRO ELECTRONICO Y LA VALIDACION DEL PROFESIONAL.

Anexo B.1: Paciente 1……102
Anexo B.2: Paciente 2……103
Anexo B.4: Paciente 4……104
Anexo B.5: Paciente 5……105
Anexo B.6: Paciente 6……106
Anexo B.7: Paciente 7……107
Anexo B.8: Paciente 8……108
Anexo B.9: Paciente 9……109
Anexo B.10: Paciente 10……110
Anexo B.11: Paciente 11……111
Anexo B.12: Paciente 12……112
Anexo B.13: Paciente 13……113.
Anexo B.14: Paciente 14……114.
Anexo B.15: Paciente 15……115

ANEXOS C

PRUEBAS REALIZADAS A LOS PACIENTES DIAGNOSTICADAS EN EL LABORATORIO DE ORTHESIS Y PROTESIS "ORTHOSA LAB".

Anexo C.1: Paciente 1……116
Anexo C.2: Paciente 2……117
Anexo C.3: Paciente 3……118.
Anexo C.4: Paciente 4……119.
Anexo C.5: Paciente 5……120.
Anexo C.6: Paciente 6……121.
Anexo C.7: Paciente 7……122.
Anexo C.8: Paciente 8……123.
Anexo C.9: Paciente 9……124.
Anexo C.10: Paciente 10……125
Anexo C.11: Paciente 11……126
Anexo C.12: Paciente 12……127
Anexo C.13: Paciente 13……128
Anexo C.14: Paciente 14……129
Anexo C.15: Paciente 15……130

ANEXOS D

PROTOCOLO "PODOMÉTRO ELECTÓNICO MV 7000". ……131

1

Fundamentos Básicos del Pie Humano.

1.1 EL PIE Y SU ESTRUCTURA.

El Pie humano es uno de los órganos más complejos que tiene nuestro cuerpo, por tal motivo posee varias funciones, una de ellas es la de ser gestora de la marcha, que hace de recepción, amortiguación, sostén y de propulsión. Además de ser un órgano de vital importancia en las reacciones de equilibrio, capaz de ser el informante perfecto de nuestros movimientos con respecto al suelo gracias a las medidas de presión.

El pie es el elemento clave en la evolución hacia la verticalidad, lo que le ha permitido ser el único mamífero que vive realmente una postura de forma bípeda y mantenerse en equilibrio, hacer cosas fabulosas desde correr y saltar con toda seguridad, ha permitido al hombre vivir en toda plenitud y gozar de la libertad.

El Pie es la extremidad más distal del miembro inferior, se la considera como una estructura perfecta diseñada para aguantar nuestro peso y poder desplazarnos con todo seguridad por diversos terrenos y en circunstancias desfavorables para el hombre.[1] Al pie se lo considera como todo un conjunto dinámico que brinda al ser humano muchas opciones, por ello es muy importante estudiar el cuidado, su estructura, conocer bien su anatomía, en definitiva la acción que realizan los pies es de vital importancia, sin dejar de nombrar que a este elemento se liga a la pierna y cadera, elementos igual de importantes cuando se habla de la movilidad de nuestro cuerpo. La estructura de la pierna humana se divide en tres ejes fundamentales: la cadera, la pierna y el pie.[2]

[1] Kinesitherapie scientifique N° 294, Rusia Octubre 1990, El pie Humano órgano de la postura Ortostática, pág. 2.
[2] Morfología de manos y pies, Febrero 2007, Descripción del Pie, pág. 11.

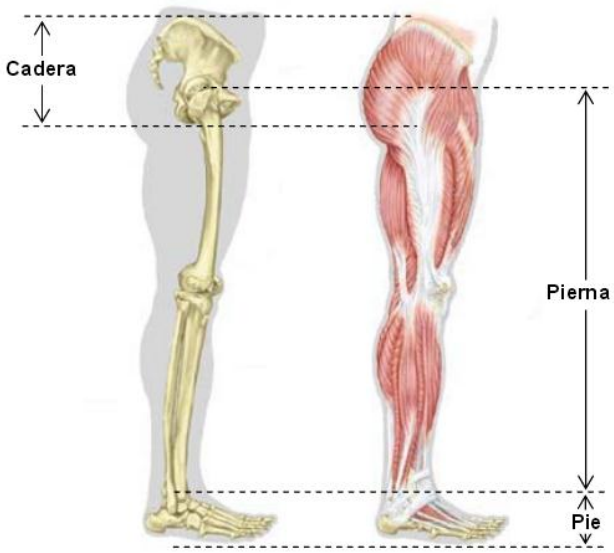


Fig. (1 : 1) Estructura ósea y muscular de la pierna humana. Fuente [1]

1.1.1 FUNCIONES DEL PIE.

Para asimilar la gestión de los pies, debemos analizar la función principal la cual se fundamenta en ser el soporte primordial para poder desplazarnos de forma bípeda, para todo aquello se debe cumplir con 4 funciones básicas:

- De absorción constante a los impactos.
- De generar las suficientes fuerzas de propulsión para caminar.
- De traslación las fuerzas de rotación generados por las caderas.
- De adaptación a superficies irregulares.

En la planta del pie existe un sinnúmero de terminaciones nerviosas, las mismas que se distribuyen hacia todo el cuerpo, siendo este el elemento clave de conexión entre órganos internos o externos mediante músculos, es decir a la planta del pie se la considera como la matriz de las conexiones nerviosas en donde los diferentes órganos tienen enlaces nerviosos.

Fig. (1 : 2) El Pie Humano la composición. Fuente [2]

- **BÓVEDA PLANTAR.**

Es la estructura como una especie de arco que se forma en la parte interna del pie con el fin de soportar de mejor manera las fuerzas de presión y de carga, esta forma de arco presenta varias particularidades la primera que es cóncava hacia abajo presentando tres puntos de apoyo, los mismos que son; un apoyo posterior (hueso calcáneo) y dos apoyos anteriores, por dentro la cabeza del primer metatarsiano y por fuera la cabeza del quinto, en fin el sistema para que el pie soporte carga y presión, se da a través de los tres puntos de apoyo, es decir mediante los cuales es sustentado por el también llamado trípode plantar. [3]

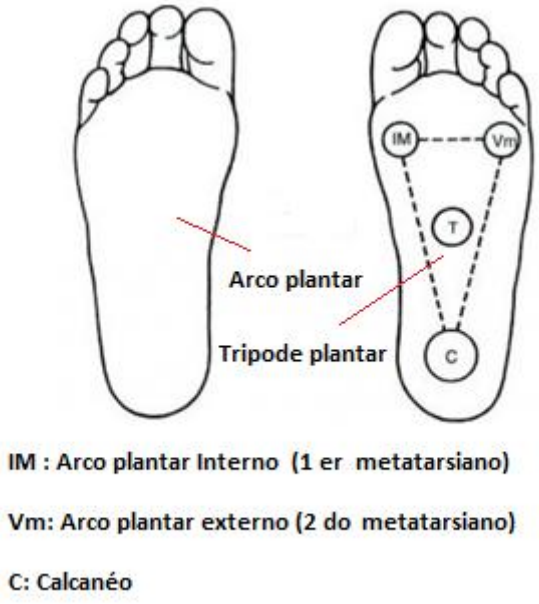


Fig. (1 :3) Estructura de la Bóveda plantar. Fuente [3]

El trípode plantar que forma el pie, requiere que los puntos de apoyo estén conectados de forma que se genere entre ellos músculos (arcos plantares), que están unidos por bandas aponeuróticas, de aquí se generan tres arcos importantes, el arco plantar interno, arco plantar externo y por último el arco anterior.

a. **Arco plantar Interno:** Como su nombre lo dice se genera en la parte interna del pie, une el punto de apoyo del calcáneo con la cabeza del primer metatarsiano.
b. **Arco plantar Externo:** une el apoyo del calcáneo con la cabeza del quinto metatarsiano, formándose así el arco principal externo.
c. **Arco Anterior:** Une los puntos de apoyo de los miembros que componen del primer al quinto metatarsiano.

Lo más importante de rescatar es que la bóveda plantar genera un fuerte impacto en la consistencia del pie, es por ello que genera el funcionamiento de los arcos plantares, principalmente del arco interno y el anterior los cuales son los causantes que se presente patologías como lo son la presencia de un pie plano longitudinal, pie plano anterior y su consecuencia el hallux valgus.[3]

Cuando se genera el proceso de la marcha el pie tiene que generar una fuerza de reacción de tal manera que sea el elemento que soporte todo el peso del cuerpo, y todo este trabajo lo realiza gracias a los puntos de apoyo partiendo con el primer apoyo, el del talón es decir el calcáneo y desde allí, se desplaza hacia los puntos de apoyo anteriores hablamos de los metatarsianos, a través de dos vías la una interna (arco plantar longitudinal interno), y la otra externa (arco plantar longitudinal externo)

Las diferentes patologías que se pueden presentar en el pie, no son más que los resultados de una variación del reparto del peso corporal que soporta la planta del pie, es decir se producen a consecuencia de una mala distribución de las presiones plantares.

Existe una particularidad en el soporte del peso corporal de nuestro órgano en conjunto los pies, luego de hacer el siguiente análisis, en primera instancia el pie apoyado, estáticamente y el paciente descalzo recibe la carga del peso que en el mejor de los casos se transfiere a cada pie en partes iguales, en segunda instancia tenemos cuando se genera la marcha, en este caso el peso se multiplica por 2 o 3, y por último en la acción de saltar se genera un incremento de 4 a 5 veces nuestro peso, en fin esto quiere decir que nuestro cuerpo está diseñado para soportar grandes pesos y así brindarnos la confiabilidad al caminar, correr y saltar, etc.

1.1.2 ANATOMIA DEL PIE.

El pie es parte fundamental del cuerpo humano, por lo que se encuentra sometida a diferentes esfuerzos que sin duda alguna generan anomalías en su funcionamiento por lo que conlleva realizar el análisis anatómico del mismo ya que se trata de una de las estructuras más complejas de nuestro cuerpo.

El pie está formado por todo un esqueleto compuesto de: huesos y músculos, nervios, venas, arterias, piel y uñas [2]. Los huesos están cubiertos y unidos por los tendones,

[3] Problema común en los pies, denominado como Juanete, producido por el abultamiento pronunciado con o sin inflamación alrededor del dedo grueso.

siendo los músculos el conjunto de elementos que permiten alargar y acortar los movimientos del pie.

- **HUESOS DEL PIE**

La estructura ósea del pie es una de las más complejas de todo el cuerpo humano, está formado por 27 huesos acompañado de pequeñas articulaciones una tras de otra. El Pie se divide en tres partes

a. Tarso: Es la parte posterior del pie, Se forma de 7 huesos distribuidos en dos filas se ubica entre los huesos de la pierna y los metatarsianos, que forman el talón y el dorso del empeine. Los mismos que se encuentran distribuidos en dos filas, en la primera fila la misma que está más cerca al cuerpo, se encuentra el escafoide que junto con el cuboides se articulan con el metatarso y la segunda fila que es la más distal porque está más cerca de los dedos, está formada por el astrágalo el mismo que se articula con la tibia y el peroné, dando paso al calcáneo que forma el talón. Los tarsianos junto con el calcáneo, soportan la mayor parte del peso del cuerpo.

b. Metatarso: Formado por cinco huesos largos que se extienden entre el tarso y las falanges formando el pie medio. Se los puede ennumerar desde el dedo gordo hasta el meñique, los mismos que van articulados uno por cada dedo con el tarso, logrando articular los ligamentos de los dedos y del pie.

c. Falanges: Conformado por 14 huesos que constituyen los dedos, con una particularidad el primer dedo está formado por dos huesos y los otros dedos tiene tres falanges, las mismas que se les denomina falanges distales a las que están más alejadas del pie es decir los extremos de los dedos, luego les sigue las falanges medias, concluyendo con las falanges más cercanas al pie, las mismas que se articulan con el metatarso llamándose primeras falanges.

Los elementos que dan forma al arco del pie son los huesos del tarso y el metatarso [2].

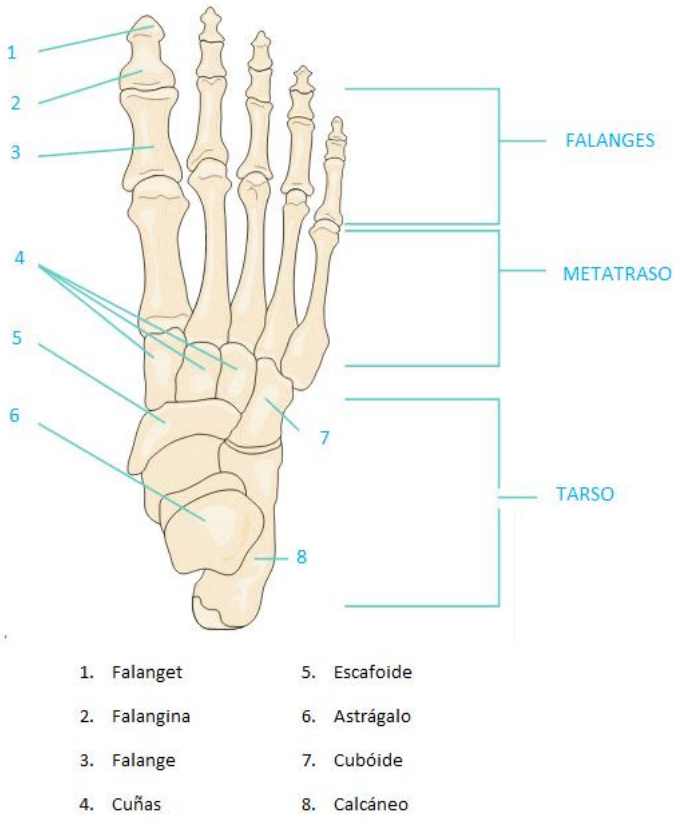


Fig. (1 : 4) Distribución ósea del pie. Fuente [2]

- **MUSCULOS DEL PIE.**

De acuerdo a la forma del pie, existe una particularidad. Los huesos constituyen el armazón del pie y los músculos, que están ligados a los huesos por los tendones, garantizan el movimiento. [2] Ya que la planta del pie forma un arco sostenido por tendones, ligamentos y estos pueden ser largos, tensos que hacen como una cuerda, los mismos que permiten tener sostenibilidad en la estructura misma del pie que posibilita la movilidad, el arte de la marcha y por consecuencia el ejercer fuerza y que esta sea transmitida para producir provecho de cualquier actividad.

Así entonces los músculos del pie vienen a ser unos veinte, los mismos que están dispersados en cuatro regiones.

- Región Dorsal.
- Región Plantar

  Región Plantar Interna.

  Región Plantar Externa.

  Región Plantar Media.

Región Dorsal: En esta región se encuentra el musculo medio, dando forma a los tendones que van insertados entre los dedos excluyendo al dedo más pequeño el meñique, permitiendo la extensión de los dedos.

Región Plantar: Esta región está formado por varios músculos pequeños que individualmente son desapercibidos lo que le hace importante es la acción conjunta de todos estos músculos, los mismos que sostienen y refuerzan los arcos del pie durante la acción de la marcha involucrando varios movimientos y posturas.

Región Plantar Interna: Aquí se forma el flexor corto del primer dedo, dando cabida a los músculos abductor y aductor.

Región Plantar Externa: En esta región se da cabida única y exclusivamente a la movilidad de adentro hacia afuera y viceversa del quinto dedo, debido a que en esta zona se encuentra el flexor corta que flexiona la falange del quinto dedo.

Región Plantar media: Aquí se dan dos movimientos la de flexión de los falanges y extensión de los mismos.

Según sea la disposición de los músculos en el pie, estos se dividen en dos grandes grupos:

- Músculos Intrínsecos.
- Músculos Extrínsecos.

Músculos Intrínsecos: Son aquellos que tiene inicio y fin en el mismo pie, aquí se producen los movimientos de los dedos: flexión, extensión, abducción y aducción. Teniendo como elementos principales a los siguientes músculos:

- Lumbrical
- Flexor corto del dedo gordo.
- Flexor corto de los dedos.
- Extensor corto de los dedos.
- Extensor corto del dedo gordo.
- Interóseos
- Abductor del dedo gordo.
- Abductor del quinto dedo.

Músculos Extrínsecos: Este grupo es el que se originan desde la pierna y es el encargado del movimiento de tobillo y pie, ejerciendo tracción presentándose encajamientos entre el tobillo y el pie, generándose los siguientes movimientos:

- Extensores o Flexor Dorsal.
- Flexor plantar.
- Inversores o supinadores.
- Eversores o pronadores.

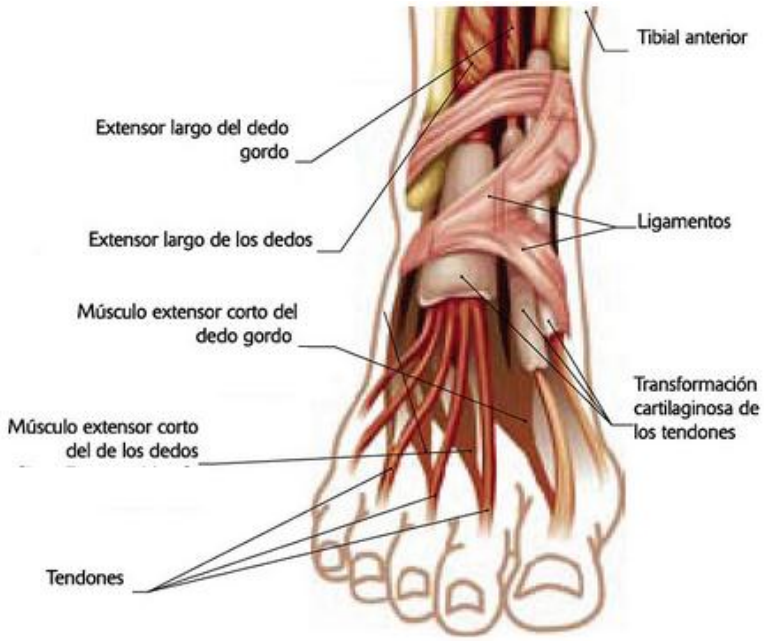


Fig. (1 : 5) Músculos del pie. Fuente [4]

- **VASCULARIZACION DEL PIE.**

Se denomina vascularización al sistema vascular formada por un conjunto de redes que forma el sistema venoso y por una red linfática. Vale acotar que el sistema nervioso se alimenta de las piernas principalmente, y se compone superficialmente.

La vitalidad de la estructura del pie, se debe al estado de su sistema arterial, cuyo elemento principal es el arco plantar, entre otros vasos, las arterias metatarsianas plantar, fundamentales para la irrigación de los dedos y la región plantar.

- **Sistema Vascular**

Al sistema vascular se las puede diferenciar en dos grupos importantes, los que se describen a continuación:

- **Arterias que irrigan el Pie:** Este tipo de arterias nacen desde la parte superior del pie es decir desde las arterias peroneas y tibiales, ramificándose por todo el

pie, especialmente se conducen hacia el tobillo, otra que se dirigen a la arteria pedia, canalizándose hacia la parte posterior del pie.

- **Arterias Plantares Externas e Internas:** Este grupo de arterias es el más importantes ya que constituyen el arco plantar, y que de este se ramifican arterias hacia los dedos del pie.

  - **Red linfática**

Como su nombre lo dice es una red que trata de reunir todos los sistemas linfáticos presentes en el pie y estos son:

- Vasos linfáticos de los bordes Internos y externos.
- Vasos linfáticos de la parte posterior del pie.

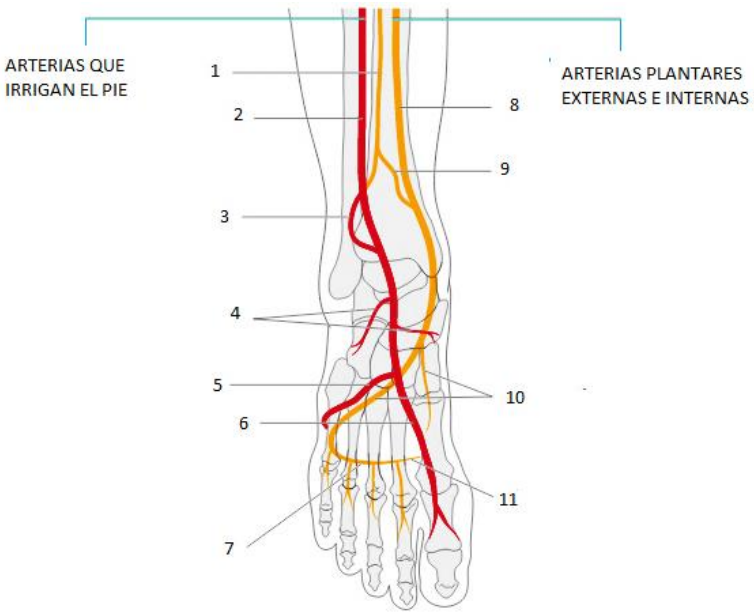


Fig. (1 : 6) Vascularización del pie. Fuente [2]

1.1.3 PROCESO DEL PIE EN MARCHA

- **Primer momento:** Se origina cuando el pie está apoyado solo en el talón, manteniéndose el resto del pie libre de presión.

- **Segundo momento:** Se genera cuando el pie se apoyado totalmente al piso, es decir toda la planta del pie está sufriendo presión, y todo el pie forma un ángulo recto con el eje de la pierna.
- **Tercer momento:** En esta etapa el pie sufre un levantamiento de la superficie es decir el talón se eleva repartiéndose el peso a los puntos de apoyo posterior y anterior repartiéndose el peso por igual.
- **Cuarto momento:** Esta etapa se genera cuando el pie se apoya solo en el arco anterior a lo largo de los metatarsianos.

1.1.4 ANTROPOMETRIA DEL PIE

La antropometría no es más que obtener datos (medidas) que en este caso se trata de los pies, y que por naturaleza tienen características diferentes en cuanto a medidas se refiere el un pie del otro.[4]

- **PERFIL ANTROPOMÉTRICO ECUATORIANO**

En nuestro país, se ha realizado estudios sobre el levantamiento del perfil antropométrico del pie cuyos resultados sin duda alguna alertan a la población, el presente estudio se lo efectuó en diez ciudades, fue realizado de forma conjunta entre el ministerio Coordinado de la Producción y la CALTU (cámara de calzado de Tungurahua)en cooperación con expertos Brasileños y el Instituto Valenciano del Calzado de España y la empresa privad PLASTICAUCHO, quienes levantaron información para establecer el perfil antropométrico del pie ecuatoriano, que se efectua desde el 2011 hasta Junio del 2013, cuyo desarrollo implica el análisis de los aspectos biomecánicos del pie.[5]

El estudio tuvo la finalidad de recopilar datos (antropométricos) básicos del pie que consiste en suplir la falta de información en cuanto al largo, hormas y profundidad del pie.

El análisis se lo realizo a una población de 741 personas entre hombres y mujeres de 10 ciudades entre los 18 y 59 años, con una inversión de 350 mil dólares.

[4] Antropometría, Alicante 2013, manual básico para estudios de salud pública, pág. 3.
[5] Consorcio Ecuatoriano de responsabilidad social, Ecuador 2012, laboratorio de Biomecánica del calzado, pág. 1.

1. RESULTADOS.

Se obtuvieron varios resultados importantes, empezando con el muestreo de la población 287 hombres y 484 mujeres en donde la media de edad es 29 para los hombres y 27 para las mujeres.

Un tema importante es el peso ya que la superficie plantar y el estudio del arco depende de cuánto peso soportan nuestros pies y se determinó que el 13% tienen sobrepeso y el 40% están en rangos normales.

La medida longitudinal del pie en las mujeres se presenta con un media de 36 y en los hombres es de 40.

Fig. (1 : 7) Media longitudinal en Hombres y Mujeres. Fuente [5]

Dando como resultado la presencia de dos tipos de patologías mayoritarias la primera halux valgo o lo que es lo mismo los juanetes y la segunda es el pie plano. Esta ultima patología se presenta en una proporción del 61.2 % en el grupo masculino de la Costa y el 43.7% en el de la Sierra, un 51% para las mujeres de la costa frente a un 42% de mujeres en la Sierra.. La tercera patología es la del pie cavo presentándose en la costa un promedio de 1.5% para mujeres y 0.5% para varones, esto en la costa y en la sierra un porcentaje del 1.4% para las mujeres y un 0.3% para los varones. Finalmente se presentó el pie plano dando el porcentaje del 16% para hombres y mujeres en la costa, frente a un 56% para las mujeres y 55% para los hombres.[6]

[6] Diario La Hora, Ecuador 2013, Estudio del perfil antropométrico ecuatoriano, pág. 4.

PIE CAVO

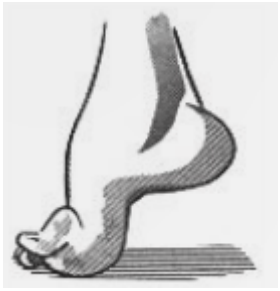


Fig. (1 : 8) Resultado Pie Cavo en Hombres y Mujeres. Fuente [5]

PIE PLANO

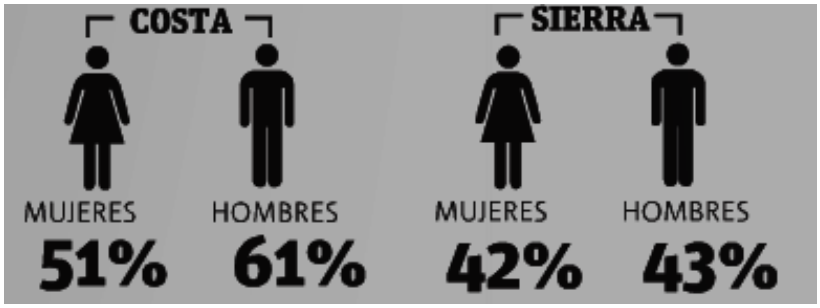


Fig. (1 : 9) Resultado Pie Plano en Hombres y Mujeres. Fuente [5]

PIE NORMAL

Fig. (1 : 10) Resultado Pie Normal en Hombres y Mujeres. Fuente [5]

1.2 PATOLOGIAS DEL PIE

Al hablar de patologías, simplemente es el estudiar los transtornos fisiológicos y anatómicos de órganos, tejidos, o cualquier sistema de nuestro cuerpo. En el presente capitulo desarrollaremos el análisis de las diferentes patologías que se puede presentar en el pie, así como los síntomas, las diferentes formas de presentarse y por ultimo las causas que las origina, al tratarse de un órgano sumamente importante en el desarrollo del ser humano. La acción de los pies en conjunto permite adaptarse a las irregularidades del terreno, gracias a la acción de la bóveda plantar, y es por ello que el pie está sometido a cambios constantes todo el tiempo, dando como resultado la

afección de este elemento y a su vez la estática corporal, viéndose seriamente afectado la dinámica del paciente.

Según el anuario de estadísticas vitales del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el año 2011 hubo 304 egresos hospitalarios por el diagnóstico, deformidades congénitas de los pies. Por grupos de edad se trataron a 108 niños menores de un año; desde un año hasta los 15 años, atendieron a 147 niños; y, desde los 15 hasta adulto mayor, 49. De ellos, 173 pacientes fueron hombres y 131 mujeres.[7]

La asociación española de Medicina y cirugía del pie y tobillo afirman que el 40% de la población sufre algún tipo de patología, y que de estos el 85% de los afectados son las mujeres.[8]

- **PRINCIPALES CUADROS PATOLOGICOS.**

El ser humano al estar sometido a diversas variaciones de presiones y ante las imperfecciones de las superficies, esto genera diversas reacciones del pie, el esfuerzo al que se someten nuestros pies, aumenta el mal apoyo, puede generar ruptura de la mecánica del pie, es decir afección puntual a los puntos de apoyo y mal funcionamiento de los mismos, dando resultados como: Deformación de los ejes del pie, afección directa a los metatarsianos, los dedos, mal apoyo plantar, presentándose en dolor plantar, artrosis, contracturas musculares dolorosas y por ultimo callosidades. [10]

Clasificación.

- Malformaciones congénitas: estos se pueden presentar como pie plano-valgo congénito, pie cavo.
- Deformaciones Adquiridas: pie plano, pie plano-normal, pie normal, pie normal-cavo, pie cavo, pie cavo fuerte, pie cavo extremo.
- Lesiones neurológicas: Estas son pie de la parálisis cerebral, pie del diabético, pie del poliomielítico.
- Metatarsalgias
- Artropatías reumáticas: Estas son la gota úrica, artrosis, artritis reumatoideas.
- Lesiones en partes blandas.

[7] Diario Extra, Ecuador 2013, Levantamiento del perfil antropométrico ecuatoriano, pág. 6
[8] Diario La Hora, Ecuador 2013, Estudio del perfil antropométrico ecuatoriano, pág. 4

- Tumores óseos.
- Lesiones de la piel: Se presentan con la uña encarnada, queratosis o conocidas como callosidades.

Cabe indicar que para este proyecto se analizaran los dos primeros puntos las malformaciones congénitas y las deformaciones adquiridas, puesto que son las más frecuentes y además que estas "afecciones" son totalmente reversibles es decir se las puede tratar. A continuación se describe las patologías que serán analizadas, con el objetivo que el presente estudio se lo efectué de manera preventiva, en pacientes con problemas o dolencias de tipo estructural del pie.

1.2.1 PIE PLANO

Corresponde a la estructura del pie en donde se observa que carece de la bóveda plantar, transformando el arco plantar en un aplanamiento de la superficie plantar, por lo tanto el pie no se apoya sobre los tres puntos del trípode plantar sino sobre toda la planta. En este caso la forma de pisar es hacia el interior de forma pronadora.

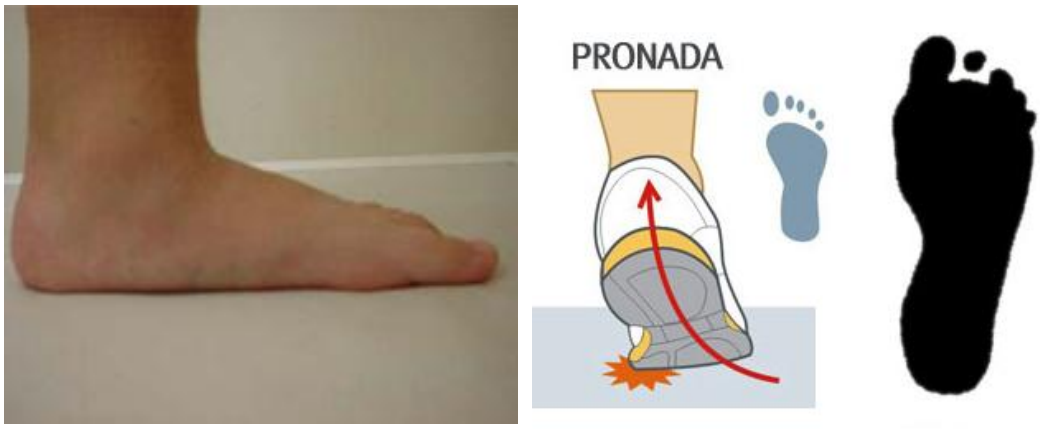


Fig. (1 : 11) Pie plano. Fuente [Autores]

1.2.2 PIE PLANO NORMAL

Este tipo de pie se observa parte de la bóveda plantar, es decir se presenta en la impresión plantar un arca mínimo en la zona de la bóveda plantar presentándose de

igual manera área mayoritaria de pisada. En este caso igual la pisada sigue siendo hacia dentro, es decir la pisada interna.

Fig. (1 : 12) Pie plano normal. Fuente [Autores]

1.2.3 PIE NORMAL

El pie normal se presenta de la forma más natural es decir se realiza una pisada de adentro hacia afuera es decir primero los metatarsos y después la zona del calcáneo, en este caso el desgaste del zapato es uniforme.

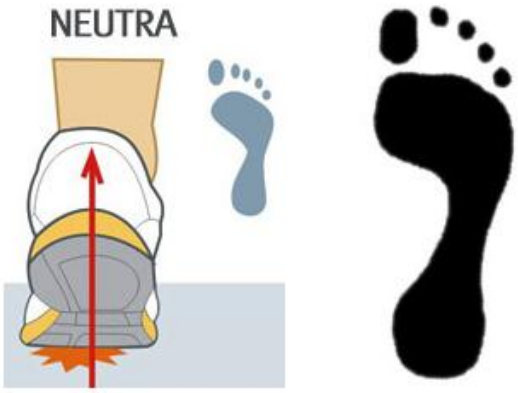


Fig. (1 : 13) Pie normal. Fuente [Autores]

1.2.4 PIE NORMAL CAVO

Este tipo de pie tiene una cualidad que el arco plantar empieza a disminuir su medida horizontalmente, es decir se presenta desgaste en la forma exterior del zapato haciendo que se pise más hacia esta zona, logrando disminuir la zona de contacto en la parte central del pie.

Fig. (1 : 14) Pie normal cavo. Fuente [Autores]

1.2.5 PIE CAVO

Consiste en una elevación atípica de la bóveda plantar, los dedos quedan agarrotados hacia adentro, dando origen a que se presente desgaste en el zapato en la parte exterior hacia afuera.

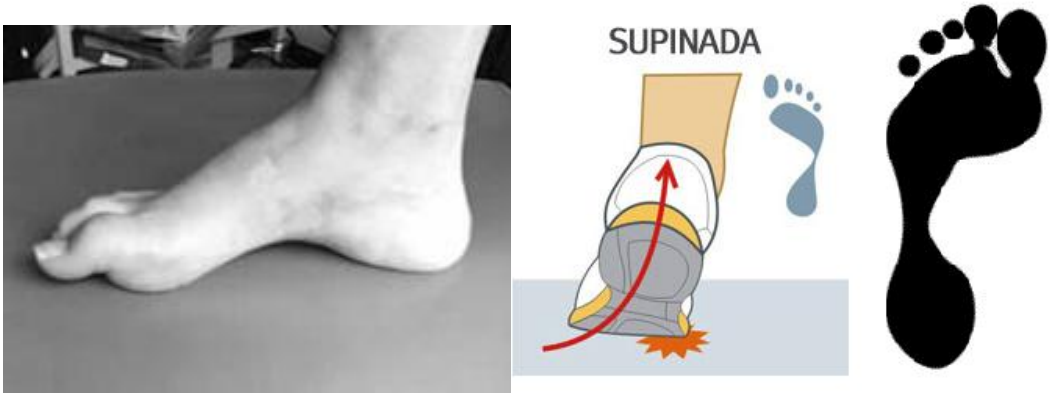


Fig. (1 : 15) Pie cavo. Fuente [Autores]

1.2.6 PIE CAVO FUERTE

Como su nombre lo indica es que el pie tiene sus dedos flexionados a tal punto que llega a disminuir el tamaño del pie, haciéndose más notorio el desgaste del zapato y la forma de la pisada más hacia afuera.

Fig. (1 : 16) Pie cavo fuerte. Fuente [Autores]

1.2.7 PIE CAVO EXTREMO

Aquí el pie se apoya sobre el borde externo, mientras que en el borde interno se encuentra elevado, es decir es un defecto de posición estructural del pie. Al ser esta patología no muy común es fácil identificar este tipo ya que el pie no deja huella en la parte central de la planta, ni en los dedos.

Fig. (1 : 17) Pie cavo extremo. Fuente [Autores]

1.3 MEDICION DE LAS FUERZAS PLANTARES.

La Podometria es la técnica que tiene como objetivo medir las presiones que se aplican sobre la planta del pie o sobre una región especifica de la misma. La podometria en el campo clínico es utilizada para el diseño y construcción de ortesis y plantillas, se utiliza

para realizar el análisis post quirúrgico o simplemente para evaluar la respuesta de un paciente a un determinado tratamiento.[9]

Un podómetro es el equipo que permite realizar el análisis de distribución de las presiones aplicadas sobre la planta del pie. Los podómetros se los clasifica en dos grandes grupos:

a. Podómetro Cualitativo.
b. Podómetro Cuantitativo.

1.3.1 PODOMETRO CUALITATIVO.

Como su nombre lo indica este grupo abarca a equipos mecánicos, artesanales, en donde no brindan resultados numéricos repetibles. Los podómetros cualitativos son los más usados, ya que son económicos y se encuentran disponibles en el mercado, a continuación se presentan los más conocidos:

- El Podoscopio.
- Impresión de tinta sobre papel.
- Impresiones sobre plastilina o yeso.

El Podoscopio es un equipo que nos brinda resultados cualitativos el cual nos permite obtener de manera directa la visión de la superficie plantar,[10] podemos decir que se constituye de un superficie refractante que es el vidrio y por debajo de esta un espejo que permite al médico observar la superficie plantar, es por todo aquello y el funcionamiento del equipo que se obtienen diagnósticos variantes, debido a que el éxito de este equipo radica en la experiencia del médico ya que sel método de valoración se la realiza de forma visual por parte del médico y no basándonos a un indicador predeterminado el mismo que cuantifique los resultados. A este tipo de podómetros se los conoce como podoscopio.

[9] HUGHES. The clinical use of pedobarography, Belgica. 1993, Acta Orthopaedica. pag. 16.
[10] DOMINGUEZ, Luis, Diseño y construcción de un podómetro, Mexico DF 2007, tipos de podómetros. Pag. 15.

Fig. (1 : 18) Podoscopio. Fuente [6]

La práctica de la impresión de tinta sobre papel es la más antigua, se trata de realizar el análisis de la pisada a partir de una impresión manual que se la hacen a los pies, después de impregnar la pisada en un papel, el principio que utiliza este método es quizá una de las técnicas pioneras en el medio, en donde los especialistas utilizaban tinta la misma que la aplicaban sobre las plantas del pie utilizando pinturas vivas para realizar el respectivo análisis, el mismo que se obliga al paciente pisar sobre un papel para que quede grabado y así determinar el tipo de pisada.

Fig. (1 : 19) Impresión de tinta sobre papel. Fuente [7]

La impresión sobre plastilina o yeso, es también conocida desde hace mucho tiempo, en donde el diagnostico depende de la pericia del especialista ya que al no existir ningún indicativo el diagnostico se le hace de forma visual, basándose en las zonas de mayor contacto y quizá donde se presentan formas que no correspondes a la de un pie normal,

lo que se hace en este tipo de análisis es que al pie se le recubre ya sea de cremas, lociones o de polietileno para cubrir de la masa de yeso o plastilina, ya sea todo el pie o solo la planta, en el primer caso lo que se hace es mediante un molde desmontable y si se quiere analizar solamente la pisada se le recubre la planta, en donde una vez seco la mezcla el especialista obtiene la forma de pisada y así lograr determinar la forma de pisada, cabe indicar que esta práctica es más común para la elaboración de plantillas ortopédicas.

Fig. (1 : 20) Impresión con yeso. Fuente [8]

1.3.2 PODOMETRO CUANTITATIVO

Este tipo de podómetro son más sofisticados en donde la tecnología aplicada es la electrónica valiéndose de principios físicos en donde parten del análisis de la planta del pie, la misma que es capturada y digitalizada. Los podómetros cuantitativos o electrónicos presentan resultados numéricos repetibles, además aprovechan las ventajas de la electrónica moderna para obtener y almacenar la información para su posterior análisis.

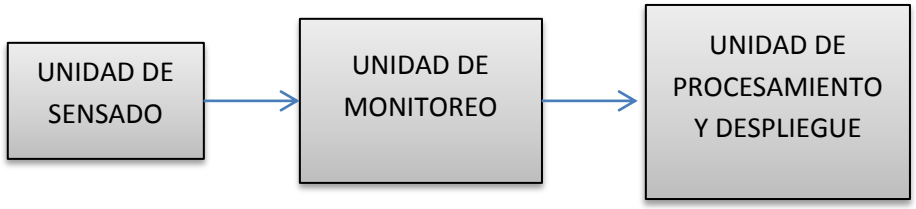


Fig. (1 : 21) . Diagrama de funcionamiento básico de un podómetro electrónico. Fuente [Autores]

- **BAROPODOMETRIA**

El baropodómetro electrónico es un equipo compuesto por una plataforma con sensores digitalizados que analizan la distribución de las cargas y presiones de los pies de forma estática y durante el ciclo de la marcha a través del análisis del apoyo plantar. [9] Este equipo representa lo último en tecnología para el estudio del pie y la marcha ya que mediante este análisis se puede detectar posibles alteraciones en la postura, la biomecánica del pie. En la imagen 21 se presenta la alteración de la estructura corporal representado en la variación de las distribuciones sobre el área plantar.

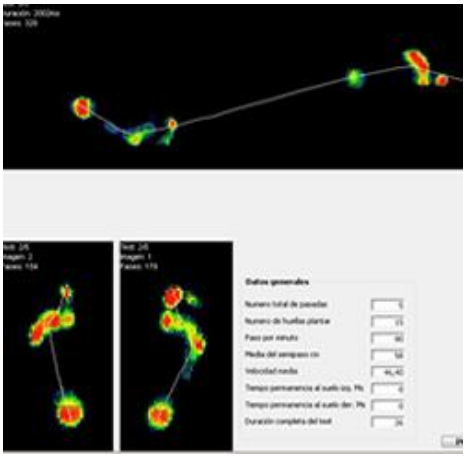


Fig. (1 : 22) Análisis plantar baropodómetro electrónico. Fuente [9]

- **BIOMECANICA DE LA PISADA**

La Biomecánica es la ciencia que estudia las estructuras de tipo mecánico del cuerpo humano. [1] El análisis de la biomecánica brinda resultados como el estudio de la pisada, su ángulo y anchura del paso, contacto del pie con el suelo, flexo-extensión de las rodillas, se analiza los movimientos de rodillas, caderas y espalda. La biomecánica se basa en principios físicos especialmente en la captura de la imagen, ya que todo el análisis de la pisada se realiza mediante la utilización de cámaras de video acompañado del censado de sensores distribuidos por toda el área de pisada.

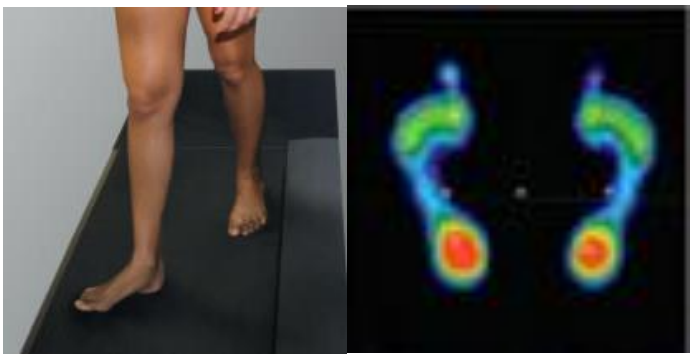


Fig. (1 : 23) Análisis plantar plataforma electrónica. Fuente [9]

Este tipo de podómetros llegan a un fin común el cual es la aplicación de la tecnología para determinar el análisis biomecánico, dicho análisis se fundamenta en las plataformas de fuerza. La fuerza se puede medir con: galgas extensiometricas, plataformas dinamométricas, sistemas de registro y análisis de presiones a través de sensores tipo plantilla.

Al hablar de estos podómetros y saber que la tecnología aplicada en los mismos son de gran magnitud, por tal motivo los instrumentos de este tipo son comercializados por las marcas:

- Piedica
- EMED ™
- TEKSCAN ™

Piedica es una empresa Italiana- Mexicana, la cual ofrece tratamientos para tratar Dolor en los pies, Tobillos, Rodilla, cadera y espalda, a través de brindar información sobre el comportamiento biomecánico de los pies con una altísima precisión el mismo que se transfiere a un sistema CAD-CAM, cuyos datos son tomados y procesados mediante Computadora, este tipo de practica medica se lo hace con mayor frecuencia para la elaboración de plantillas y poder normalizar el apoyo del pie. [9] Este equipo consiste en una plataforma de tipo modular de 40 x 40 la cual digitaliza la captura de los pies donde es analizada mediante software para realizar el estudio global de los esfuerzos mecánicos.

Fig. (1 : 24) Podómetro Piedica. Fuente [10]

Emed es una empresa Alemana, la cual nos brinda productos para el análisis de la pisada y presiones plantares, cuyos equipos se basan en sensores capacitivos, los cuales se distribuyen en la zona de pisada empleándose más de 3500 sensores, emed nos brinda sistemas electrónicos precisos para la grabación y evaluación de distribución de la presión por debajo del pie en condiciones estáticas y dinámicas [11]

Fig. (1 : 25) Podómetro Emed. Fuente [11]

Tekscan es una empresa que se ubica en Boston – Estados Unidos que se dedica a la fabricación de equipos electrónicos que para el analisis plantar se basa en sensores F-scan versatek, los cuales son en sensores en forma de plantillas el mismo que brinda información de las presiones ejercidas en todo momento y realizando cualquier actividad.

Fig. (1 : 26) Plantilla Tekscan. Fuente [12]

Otro dispositivo fabricado por Tekscan tenemos el analizador de presiones, el mismo que brinda resultados confiables ofreciendo información ante la prevención de ulceras, diagnóstico sobre los diferentes tipos de pisadas y análisis de zonas de presión.

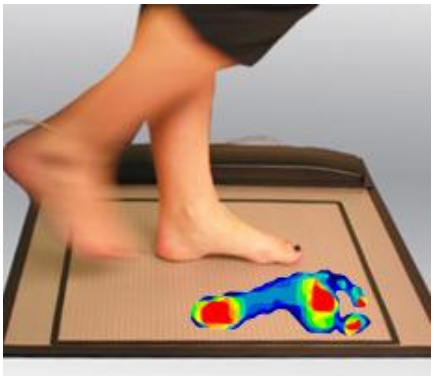


Fig. (1 : 27) Plataforma de presión Tekscan. Fuente [12]

1.4 INSTRUCCIÓNES PARA LA VALORACION DEL PIE.

Valorar el pie basándonos en el principio de Hernández Corvo, consiste en tipificar el pie según unas medidas en base a la impresión plantar. [7] El termino impresión plantar, determina la imagen capturada de la superficie plantar, siendo está, nuestra herramienta clave para valorar a nuestros pies de acuerdo a los indicativos planteados y así de esta manera poder determinar el tipo de pie[11], los mismos que se describen a continuación.

- Pie Plano
- Pie Plano - Normal.
- Pie Normal.
- Pie Normal - Cavo.
- Pie Cavo.
- Pie Cavo Fuerte.
- Pie cavo Extremo.

El método antes mencionado, tiene un nivel de aplicabilidad aceptable ya que este método es usado en las escuelas de deporte, los mismos que analizan la antropometría del pie en base a un protocolo el mismo que se sustenta en la impresión plantar de tinta sobre papel, para luego realizar el siguiente procedimiento. [13]

[11] HERNANDEZ, Corvo Roberto. Morfología funcional deportiva. Editorial científica. Ciudad de la Habana. Cuba, pag. 45.

1.4.1 PROCEDIMIENTO.

a. En la parte interna del pie debemos marcar 1 y 1´, que vienen a ser las prominencias más internas de la impresión plantar. (Fig. 27)

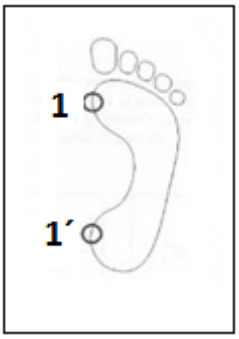


Fig. (1 : 27) Paso 1 Fuente [13]

b. Se realiza el trazo inicial, es decir una línea longitudinal que pase por 1 y 1´, uniendo estos puntos. (Fig. 28)

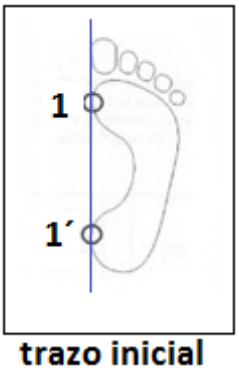


Fig. (1 : 28) Paso 2 Fuente [13]

c. Señalar los puntos 2 y 2” que coinciden con el dedo más largo (normalmente con el dedo pulgar) y con el talón. Se debe realizar una línea horizontal sobre 2 y 2” de manera que corte la línea trazada en el punto anterior. (Fig. 29)

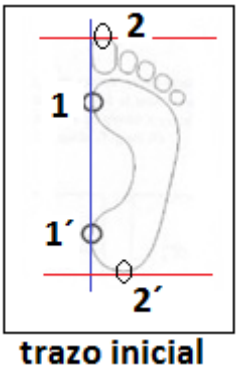


Fig. (1 : 29) Paso 3 Fuente [13]

d. La distancia desde 2 hasta 1 es la medida fundamental. (Fig. 30)

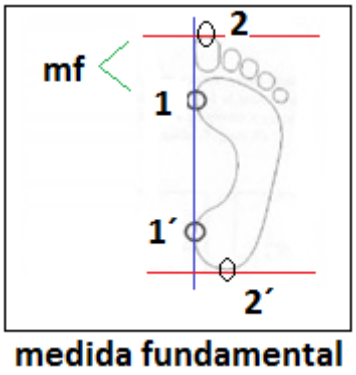


Fig. (1 : 30) Paso 4Fuente [13]

e. El resto del pie se debe fragmentar en tantas veces como sea posible, con la peculiaridad de cada trazo debe coincidir con la medida fundamental. (Fig. 31)

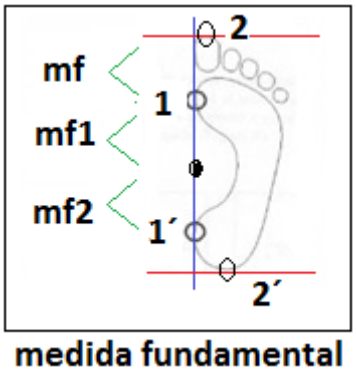


Fig. (1 : 31) Paso 5 Fuente [13]

f. Sobre los trazos anteriores se debe realizar líneas perpendiculares (3. 4 y 5) que pasen por los puntos externos de la representación del pie.

g. Se traza una línea que sea perpendicular a la línea 3, la misma que va a ser tangencial con la parte más externa de la huella, lo mismo se hace con la línea 4 y 5, de la misma forma que sea tangencial con la parte más externa (6, 7 y 8), como se indican en la siguiente figura. (Fig. 32)

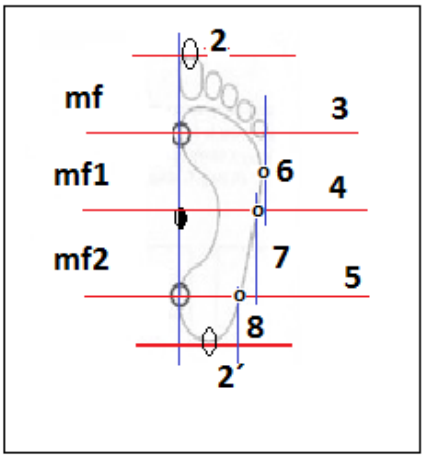


Fig. (1 : 32) paso 6Fuente [13]

h. Determinamos el ultimo punto 9, el mismo que va ha ser la parte mas interna del arco plantar la misma que va siempre a coincidir con la línea 4 y va ser colonial con el punto 7.

i. Finalmente obtenemos nuestras variables las mismas que van a ser la primera es la distancia entre el trazo inicial y 6, la misma que la determinaremos como variable X denominada el ancho del metatarso. La segunda es la distancia entre 9 y 7, la misma que la denominaremos como la variable Y, llamada superficie de apoyo del mediopie. (Fig. 33)

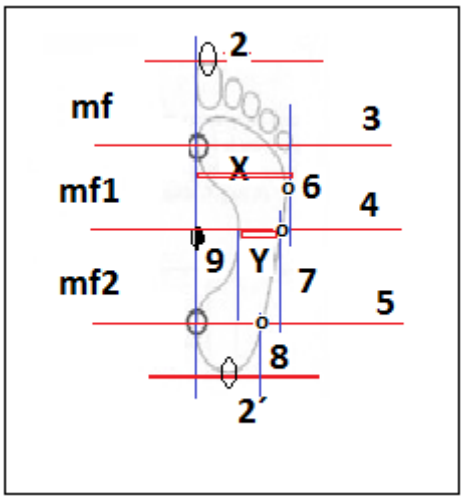


Fig. (1 : 33) paso 7 Fuente [13]

j. Una vez que tengamos todas las huellas (2), con las medidas resultantes y aplicando la Ecuación 1, obtendremos el valor del porcentaje de X.

$$\%\, X \; = (X - Y) * \frac{100}{X}$$

Ecuación (1 : 1) . Ecuación de Hernández Corvo (1989). Extraído de Aguado X. 2008 **Fuente [7]**

k. Luego de obtener el valor del porcentaje de X, mediante la siguiente tabla determinaremos el tipo de pie según el método de Hernández Corvo (1989).

TIPO DE PIE SEGÚN EL PORCENTAJE DE X

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

Tabla (1 : 1) Valoración del tipo de pie. Extraído de Aguado X. 2008. Fuente [7]

De esta manera, se establece un sistema de valoración de la planta del pie, valiéndonos del modelo de Hernández Corvo aplicado a la imagen obtenida luego del tratamiento de las imágenes respectivas. [14]

Lo que se obtienen son medidas muy útiles para diferenciar pies normales y patológicos, en donde normalmente los podólogos realizan un diagnóstico de una forma manual, basándose en el conocimiento adquirido de forma cualitativa, que en este proyecto lo complementamos con el tratamiento de las imágenes para luego procesarlas y poder determinar las zonas de mayor presión y la antropometría del pie para un diagnóstico del tipo de pie y medidas del mismo.

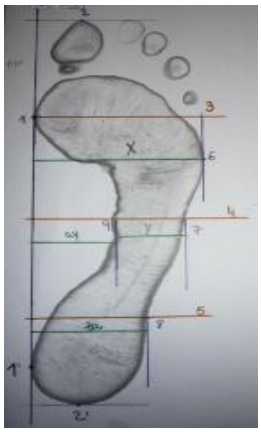


Fig. (1 : 34). Evaluación de la huella plantar según el protocolo de Hernández Corvo (1989). Fuente[14]

1.5 ANALISIS DEL MECANISMO DE EVALUACION.

Los podómetros tradicionales realizan un análisis cualitativo, basándose en la experiencia y habilidades de los podólogos frente a valoraciones de los pies,[12] en el ámbito de la industria lo que relaciona con el diseño de zapatos personalizados ortopédicos. El sistema electrónico propuesto no intenta sustituir la exploración clínica ni otras exploraciones cualitativas podológicas o radiológicas, sino que es un medio complementario eficaz que, junto con ellas, puede ayudarnos a un mejor conocimiento de las afecciones de los pies.

El sistema permitirá obtener el mapa de distribución de presiones aplicadas sobre la planta del pie, con una alta resolución y sensibilidad, comparada con la de los podómetros cualitativos tradicionales como el podoscopio y las impresiones de tinta sobre papel. Mediante la implementación de un podobarógrafo de alta resolución, capaz de analizar la planta del pie en estática y determinar a partir de tal análisis, por medio de un software, el mismo que realizara una valoración fiable y ordenada del aparato locomotor, que en nuestro caso se centra en la valoración del pie. El presente método de evaluación se aplicara después que la persona a evaluar este por lo menos unos 120 segundos, en la posición de bipedestación, sobre el dispositivo que lo llamaremos plataforma del podómetro electrónico MV7000, la misma que nos presentara la distribución de las presiones plantares del pie ejercido sobre dicha plataforma, así como también determinar cuáles son los puntos más críticos, emitir una valoración de la huella según las diferentes condiciones patológicas.

En la actualidad existe un gran número de sistemas disponibles que generan análisis de la superficie plantar, diferenciándose una de la otra por las técnicas usadas en el principio de funcionamiento o por el proceso de censado, los mismos que pueden ser resistivos, capacitivos, piezoresistivos, el uso de plataformas de presión, plantillas con lectura de transductores, podoscopios mecánicos y artesanales. Lo que se propone para el presente proyecto está el método de procesamiento de imágenes, en donde se basa en el principio de la captura de la imagen, para luego de analizar, determinar la antropometría, poder valorar al pie según las diferentes patologías antes mencionadas y por ultimo determinar las zonas de presión.

[12] DOMINGUEZ, Luis, Diseño y construcción de un podómetro, Mexico DF 2007, tipos de podómetros. Pág. 9.

Nuestro equipo, obtiene la medida cualitativa de la distribución de presiones en la superficie de los pies, y la antropometría del pie, ya que mediante esta acción se obtiene información detallada especificando las regiones de contacto que se presentan en cada superficie plantar, luego de determinar las zonas de mayor contacto se podrá determinar las posibles causas que originan este defecto en nuestros pies.

2

Desarrollo del Sistema a Implementar.

2.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA PLATAFORMA.

Para realizar el diseño estructural de la plataforma, se toma en consideración varios aspectos en donde dicha estructura tiene que ser lo más confiable posible y que sea lo mas compacta, siendo la misma un equipo que brinde seguridad a la persona que requiera el análisis de la superficie plantar, dicho diseño va necesariamente a requerir de consideraciones iniciales para garantizar su funcionamiento. A continuación se presentan dichas consideraciones:

- Como medida general, el sistema debe tener un ancho de 450 mm y largo de 1200mm.
- El sistema debe soportar un peso de 140 Kg, o lo que es lo mismo soportara un peso máximo de 300 lb.
- Contar con una superficie previa (ancho 450 mm largo 350 mm) que la llamaremos de descanso (zona auxiliar) para que el paciente este descalzo sobre la misma a la espera de la preparación del dispositivo.
- Para el proceso físico de la captura de la imagen, nuestro sistema debe contar con una cámara la misma que va a estar colocado debajo de la superficie de descanso enfocando a un vidrio, la misma que ira colocada de forma inclinada por debajo de la superficie de pisada.
- Debe constar de un peldaño de 250 mm de alto.
- La superficie en donde va a permanecer el paciente en etapa de bipedestación debe tener las siguientes medidas de ancho de 350 mm y largo de 330 mm. Cabe indicar que las medidas de la superficie antes mencionada esta de acuerdo al estudio antropométrico realizado en el Ecuador.
- Como material refractante se utiliza vidrio templado de 10 mm.
- El sistema debe contar con un sistema de pasamano, el mismo que va a permitir la estabilización después de estar más o menos unos 2 min sobre el equipo, de igual manera este pasamano de forma tubular permitirá a los pacientes subir por el peldaño apoyándonos del mismo.

La importancia de este tipo de análisis previo al diseño definitivo radica en la necesidad de realizar una valoración fiable y ordenada del aparato locomotor, que en nuestro caso se centra en la valoración del pie. El presente método de evaluación se aplicara después que la persona a evaluar este por lo menos 120 segundos, en la posición de bipedestación, sobre el dispositivo que lo llamaremos plataforma del podómetro electrónico MV7000.

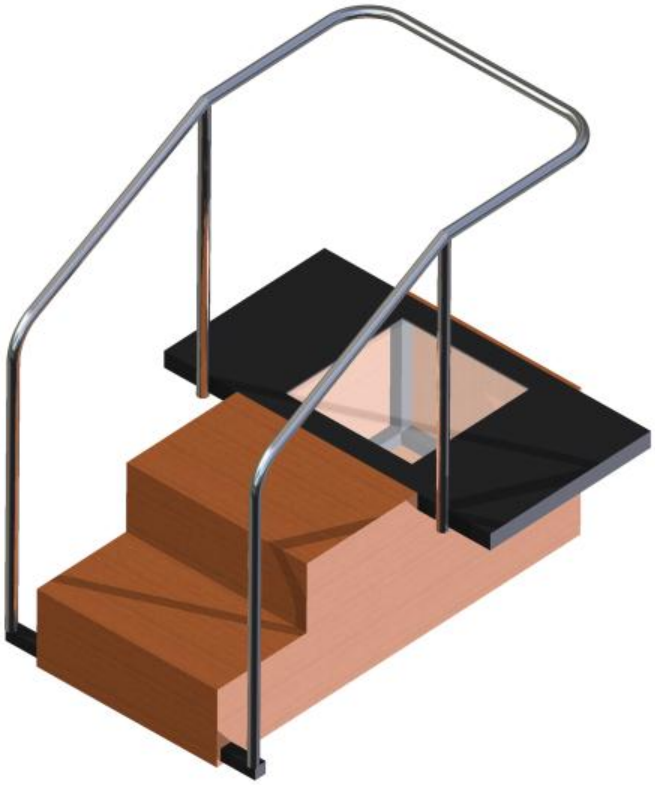


Fig. (2 : 1). Diseño estructural del podómetro propuesto [Autores].

2.1.1 PROPIEDADES DEL VIDRIO.

Para el presente proyecto lo que se empleó como superficie y material refractante es el vidrio claro templado de 10 mm, el mismo que nos brinda la seguridad y confiabilidad por su dureza y resistencia.

Resistencia a la presión.

Un cristal o vidrio templado de 10 mm ofrece la misma resistencia que una losa de 25 cm de espesor.[1] Que en nuestro caso es templado de categoría 2 que nos da una resistencia de 25 Kg/cm^2

Resistencia a la flexión.

La fuerza de ruptura por flexión de un cristal templado es de aproximadamente de 18,5 - 500 Kg/cm^2, mientras que para un cristal normal es de 3,5 Kg/cm^2.[2] [17].

Fig. (2 : 2). Resistencia a la flexión. Fuente [16].

El uso de este material refractante nos brinda excelentes resultados para lograr la refracción total interna frustrada, que para dicho efecto el vidrio al estar sometido a la luz fluorescente a los costados, y así de esta manera lograr el fenómeno de la refracción de la luz a través de la superficie del vidrio.

En la figura 2.3 se muestra el material refractante el mismo que es de material de vidrio claro templado de 10 mm, se determina la Zona de pisada que es la zona de registro de la superficie plantar, de igual manera tenemos a la zona auxiliar la misma que ayuda al paso de la luz entre las pared superior e inferior de la placa del vidrio contribuyendo asi al proceso físico de reflexión total interna el mismo que será visto mas adelante.

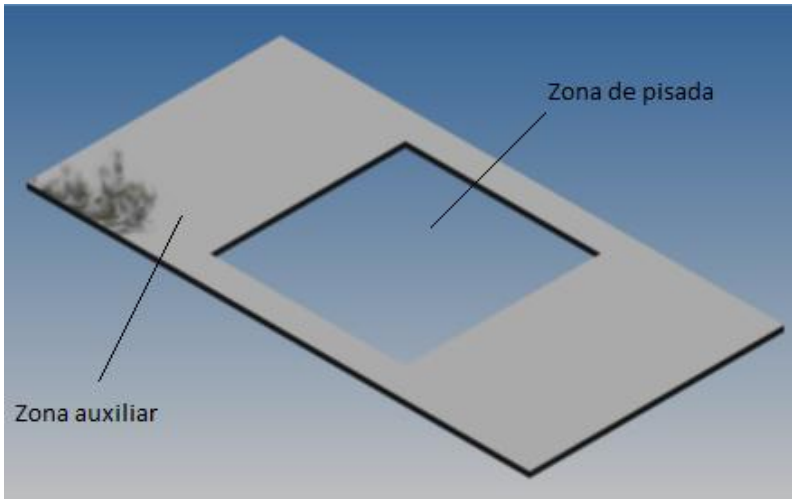


Fig. (2 : 3) Elemento refractante [Autores].

[1] Descripción de Vidrio templado.
[2] Incremento de la resistencia mecánica contra la flexión. Astiglass, Sevilla 2010, pag. 4.

2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SOPORTE BASE

Al realizar el diseño y tener el diseño de lo que queremos se procede a realizar el cálculo estructural, la selección del tipo de material y las características de los mismos, de tal forma que garantice la dureza, estabilidad y soporte de nuestra estructura la misma que estará sobrellevando el peso completo de los paciente que requieran el análisis de la superficie plantar.

Para realizar el análisis de la estructura nos valemos del programa Multiframe 4d y Autodesk Inventor[3], el mismo que nos ayuda a realizar el cálculo estructural, boceto en 3d, y asi con el uso de estas herramientas poder optimizar la misma a base de esfuerzos generados dentro del programa, logrando de manera anticipada reflejar las exigencias de la estructura apegándonos a la realidad, la misma que es el simular el peso de una persona sobre la superficie refractante la misma que va a estar sobre la estructura en mención.

2.2.1 MULTIFRAME 4D.

El Multiframe 4d es un programa que ayuda en el diseño de estructuras, a verificar que la misma cumpla con los requerimientos dados. [18]

Este programa trabaja mediante el entorno del Workshop[4], el cual nos brinda una amplia gama de herramientas el mismo que puede optar por incluir al modelado según el tipo de restricción, tipo de material, geometría del material o formas de la sección. Se incluyen también herramientas que permiten crear conjuntos de estados de carga para luego realizar el análisis estático o dinámico. [18]

El modo de análisis que se escogió dentro del programa, para realizar el análisis estructural fue en modo estático en donde se puede visualizar los resultados de forma gráfica y la posibilidad de reflejar estos comportamientos de forma numérica, los mismos que reflejan los esfuerzos o deflexiones que se somete la estructura de acuerdo a las exigencias cargadas en el programa.

Procedimiento.

Dentro del entorno del programa Multiframe 4d, hay que tomar en cuenta consideraciones iniciales, o lo que es lo mismo cargar los datos para obtener buenos

[3] Autodesk Inventor, software que permite modelado análisis de toda estructura y sirve para el modelado de objetos.

[4] Entorno de Multiframe, sirve para el modelado de estructuras de tipo geométrico.

resultados y poder dotar de seguridad a nuestra estructura. A continuación se presenta las pautas con las que se obtiene el resultado esperado dentro del programa en mención.

- Primeramente se carga el material el mismo que será perfil de acero de 2.5 mm.
- Se realiza el boceto de la estructura en el programa Autodesk Inventor, y procedemos exportar al programa Multiframe 4d, tomando en consideración el perfil antes seleccionado. Fig. 4

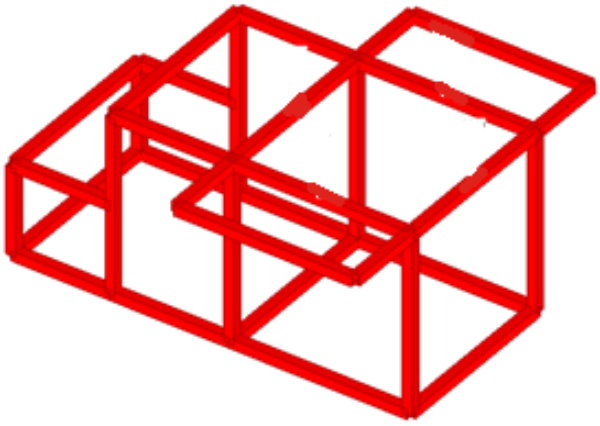


Fig. (2 : 4) Estructura inicial podómetro [Autores].

- Se colocan las cargas en los perfiles donde va a estar alojado la superficie refractante (vidrio), la misma donde va a ser soportado el peso completo de la persona.

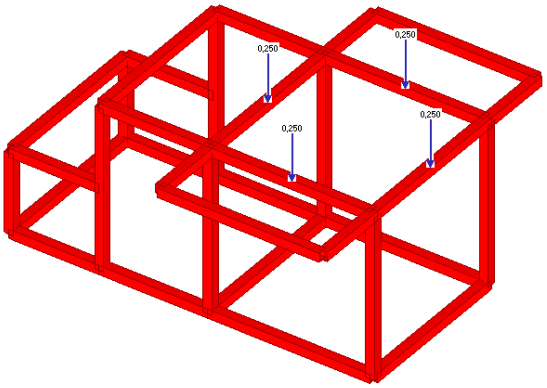


Fig. (2 : 5) Estructura con cargas [Autores].

- Generamos el análisis, transformamos el boceto en estructura lineal, para su posterior análisis.

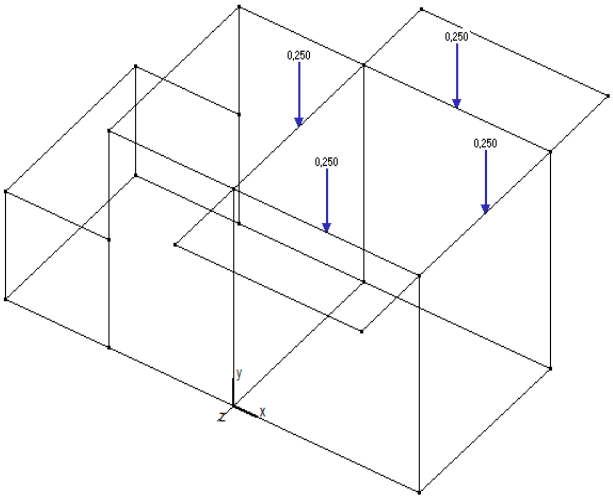


Fig. (2 : 6) Estructura de forma lineal [Autores].

- Finalmente observamos las distorsiones lineales que puede sufrir nuestra estructura.

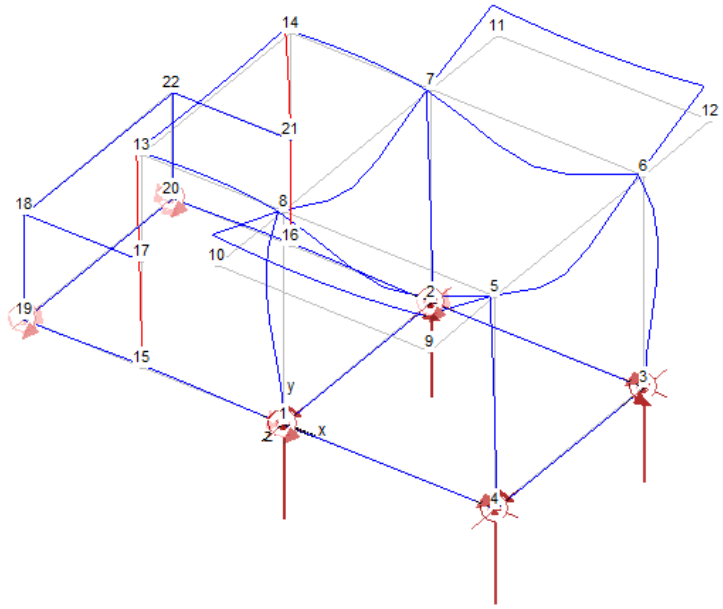


Fig. (2 : 7) Estructura aplicadas cargas [Autores].

- Observamos los resultados de manera puntual en un segmento mas critico 5 – 6 el mismo que se encuentra mas afectado.

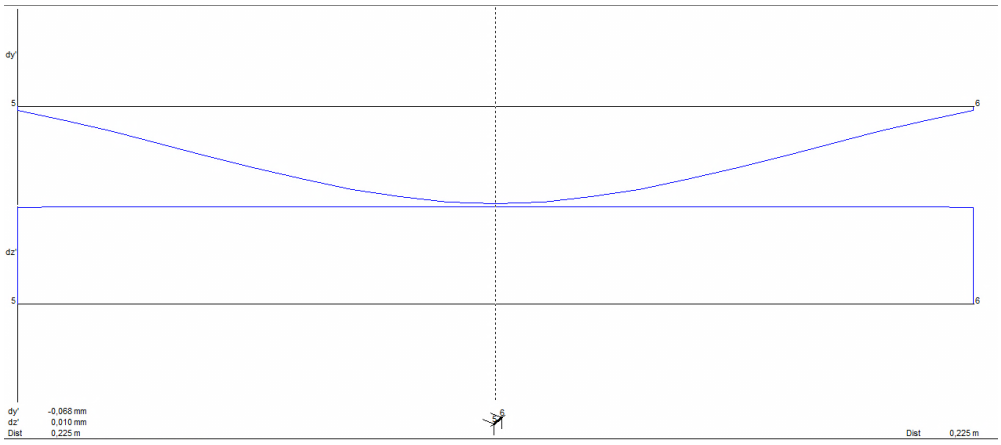


Fig. (2 : 8) resultado de esfuerzo en el punto 5 - 6 [Autores].

- Por ultimo observamos los puntos críticos de la estructura en donde con un peso de 0.25 N se obtiene la variación o deflexión horizontal de la estructura de 0.010 mm.

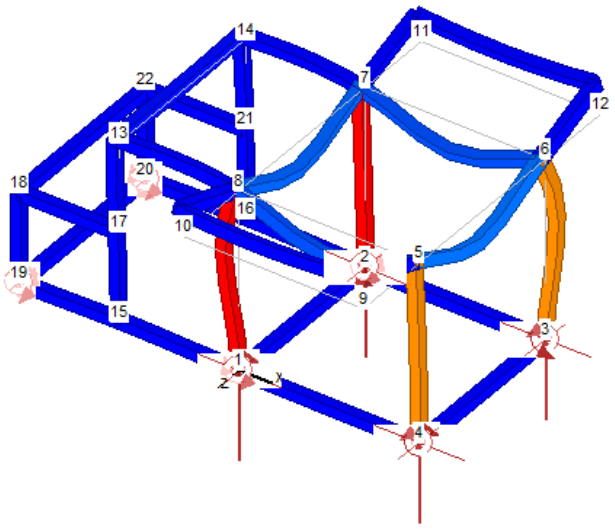


Fig. (2 : 9) Puntos críticos de la estructura [Autores].

El prototipo estará diseñado de estructura metálica, perfil de acero de 2.5 mm, cuyas medidas de la superficie refractante son las siguientes 800 mm de largo, 400 mm de ancho, el mismo que será de 1 cm de espesor y es de vidrio claro templado, que luego de hacer el análisis respectivo observamos que la variación de la geometría de la estructura es mínima dado así seguridad a nuestro equipo.

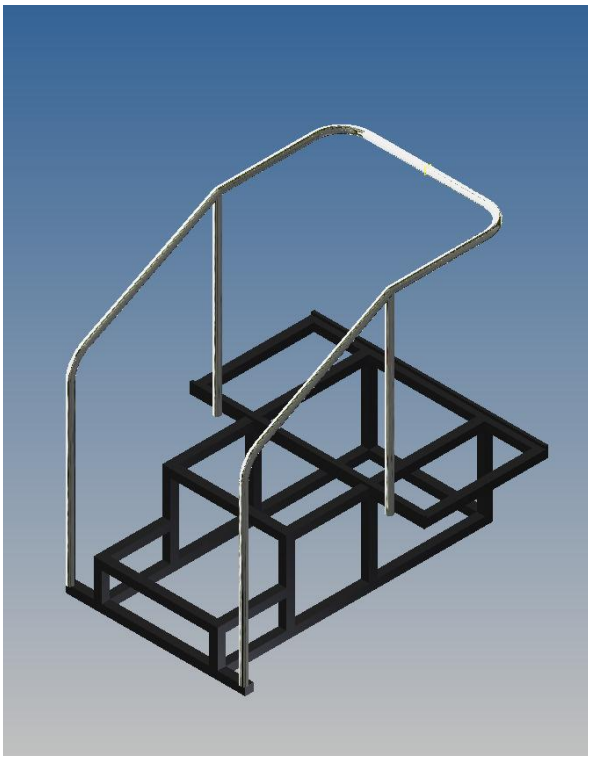


Fig. (2 : 10) Diseño estructural [Autores].

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTURA DE IMAGEN.

Para emitir una valoración del pie la misma que sea confiable, repetible, y generar el menor impacto posible a los pies, el paciente deberá estar sobre la superficie refractante y sobre esta se realizara la captura de la imagen, ya que de esta acción dependerá una buena lectura de los pies, es por ello que nos valemos del principio físico descrito por Betts[5], mediante la relación presión – intensidad con la ayuda de un podoscopio. [19]

Como se requiere un análisis estático de las presiones plantares para hacer una valoración de este y determinar alguna patología, que luego con el procesamiento morfológico de imágenes, se llegara a un diagnostico confiable. El equipo deberá llevar en el interior de su estructura un sistema de captura de imagen la misma que constara con los siguientes elementos:

- Cámara Web.
- Espejo.
- Manta recubre pies.

[5] Betts: Fisico matemático Investigador propulsor del Proceso de refracción total Interna.

2.3.1 PROCESO FISICO

Para el presente proceso físico nos valemos de la construcción del dispositivo, en donde el análisis plantar se centra exclusivamente en la zona de pisada la misma que es refractante en donde dicho dispositivo mide la distribución de la presión de cada zona de la planta del pie, mediante la relación presión – intensidad, principio fundamental para el análisis plantar como el que maneja el podoscopio. [19]

El proceso físico aplicado en nuestro dispositivo se basa en el principio del podoscopio, el cual consiste en una placa transparente (acrílico, vidrio), iluminadas por luces fluorescentes que canaliza la luz a través de ellas y que en la parte superior se encuentra un material transductor, en el cual se aplica un fenómeno físico descrito por Betts. [19]

Proceso de refracción en las imágenes.

Betts nos dice: la luz entra por los bordes de la placa acrílica es reflejada totalmente entre la superficie superior en inferior de dicha placa. La reflexión total solo ocurre cuando lo rayos de luz viajan desde un medio con un índice de refracción bajo, como en este caso del acrílico al aire. Sin embargo en aquellas zonas donde el plástico está en contacto íntimo con el acrílico, la reflexión total interna no ocurre, ya que el plástico tiene un índice de refracción mayor que la del acrílico. En estas zonas de contacto los rayos de luz son refractados fuera del acrílico y dispersados en todas las direcciones desde la superficie del plástico. [19] Esta dispersión (fig. 11) forma la imagen de la planta del pie.

En la siguiente figura se describe:

μa: índice de refracción del aire.
μac: índice de refracción del acrílico.
μp: índice de refracción plástico. y;
θ_i: ángulo de incidencia
θ_c: ángulo crítico.

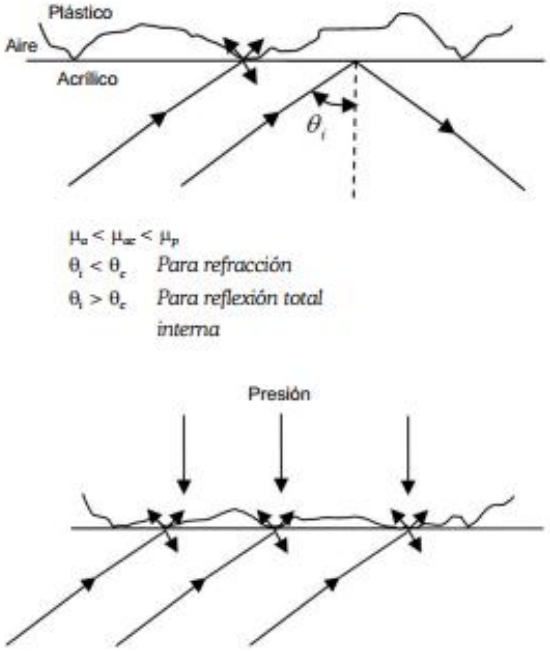


Fig. (2 : 11) Representación de los principios físicos separación plástico – acrílico. Fuente [19].

Luego de ver el proceso físico descrito por betts, podemos decir que nuestro equipo se basara en el mismo principio con una particularidad que no se utilizara el platico si no que más bien el proceso físico se dará directamente entre la planta del pie y el material refractante, para lograr el resultado final, la impresión plantar requerida para el tratamiento mediante software.

2.3.2 CAMARA WEB

Como nuestro sistema requiere de una buena imagen, gran parte de ella se debe a la forma que se obtiene dicha imagen, lo que se hizo es capturar la imagen de los pies a través de la cámara mediante el reflejo de la cámara hacia el espejo y esta hacia la superficie refractante.

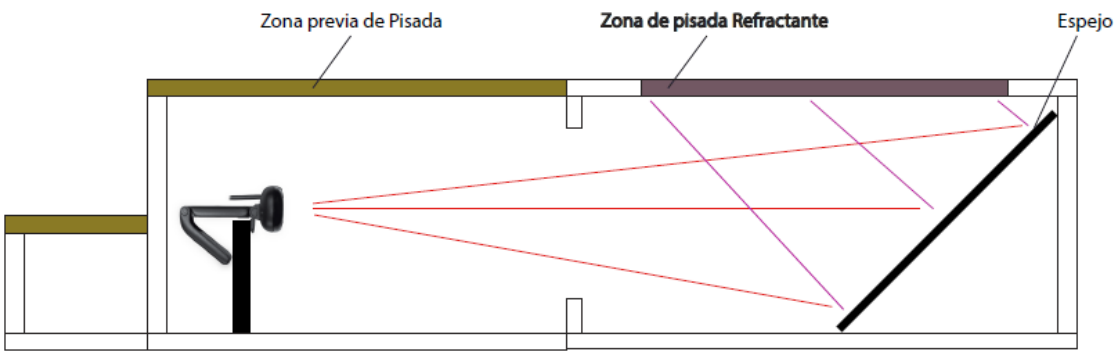


Fig. (2 : 12) Forma de obtener la imagen [Autores].

2.3.3 ESPEJO.

La cámara web, tiene una particularidad ya que la misma nos debe brindar el enfoque hacia el espejo el mismo que estará fijado a la base y a la pared lateral, exactamente a 45^{o}, de tal manera que abarque toda la superficie que le hemos denominado Zona de Pisada Refractante. Para lograr buenos resultados de enfoque o lo que es lo mismo tener la escena, una sola impresión de la zona de pisada refractante en todo momento, lo que se hizo es la calibración de la cámara un sistema mecánico que n os permite jugar con las posiciones de la misma en los diferentes ejes (X - Y - Z), de tal manera lograr tener un enfoque continuo, el mismo que se reflejara en el procesamiento digital de las imágenes, que se verá con más detalle en el capítulo 3.

2.3.4 MANTA.

Con el propósito de dotar a nuestro sistema confiabilidad en los resultados obtenidos, gran parte de aquello radica en la lectura de la superficie plantar o lo que es lo mismo la forma que se obtiene las imágenes desde el prototipo, se procede realizar el tapado de las superficies inferiores de los pies específicamente desde las rodillas hasta la superficie refractante de tal forma que se genera una cámara negra en donde va a sobresalir la iluminación que va a estar transmitida por el interior del vidrio. El proceso del tapado se lo realiza con material con característica que no permita el paso de la luz exterior hacia la superficie refractante, todo esto con el propósito de tener la misma escena en todo momento y capturar imágenes en donde realce la superficie plantar.

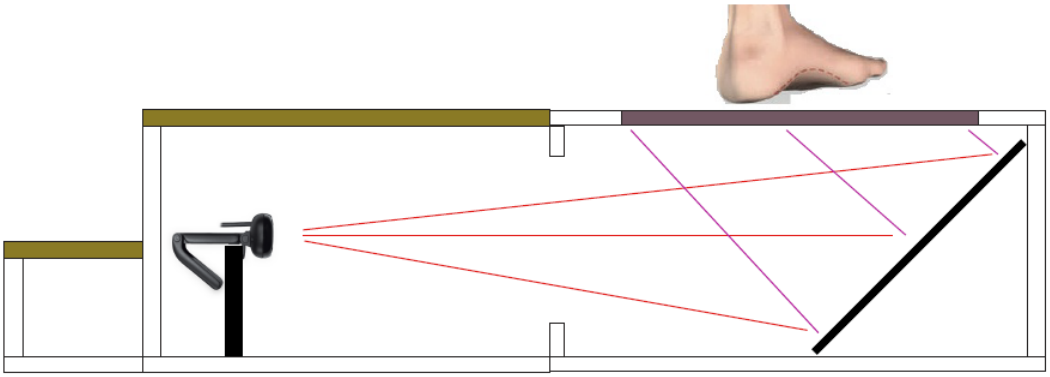


Fig. (2 : 13) Sistema de la captura de Imagen [Autores].

2.4 PODOMETRO ELECTRONICO PLANTEADO.

El presente proyecto se lo realiza con el objetivo que este análisis se lo efectué de manera preventiva, en pacientes con problemas o dolencias de tipo estructural en los miembros inferiores.

Como mecanismo de evaluación hemos denominado a la forma de obtener aquella imagen correspondiente a la impresión plantar. Por lo cual como mecanismo principal para el desarrollo del podómetro electrónico MV7000, será el software de procesamiento de las imágenes, el mismo que tiene como objetivo simplificar la información contenida en la captura plantar, manteniendo sus principales características, así también eliminando los aspectos irrelevantes, todo ello con el fin de facilitar una detección, segmentación, localización y/o reconocimiento de ciertos patrones en dichas imágenes plantares.

Para la realización de dicho procesamiento, es necesaria la implementación de herramientas como las matemáticas, por ello utilizamos el software Matlab 2013b[6], lenguaje de programación que nos ayuda a procesar la información con el objetivo de brindar alguna aplicación en especial, el mismo que será mediante comandos y programación tratar a las imágenes obtenidas del podómetro electrónico planteado.

El podómetro electrónico propuesto, obtiene la distribución de presiones en la superficie de los pies, y la antropometría del pie, ya que mediante esta acción se obtiene información detallada especificando las regiones de contacto que se presentan en cada superficie plantar, luego de determinar las zonas de mayor contacto se podrá determinar las posibles causas que originan este defecto en nuestros pies de acuerdo a una lectura por el experto, que hace de las imágenes tratadas que vienen a ser los resultados que brinda el equipo en mención.

[6] Entorno grafico matemático, versión 2013b.

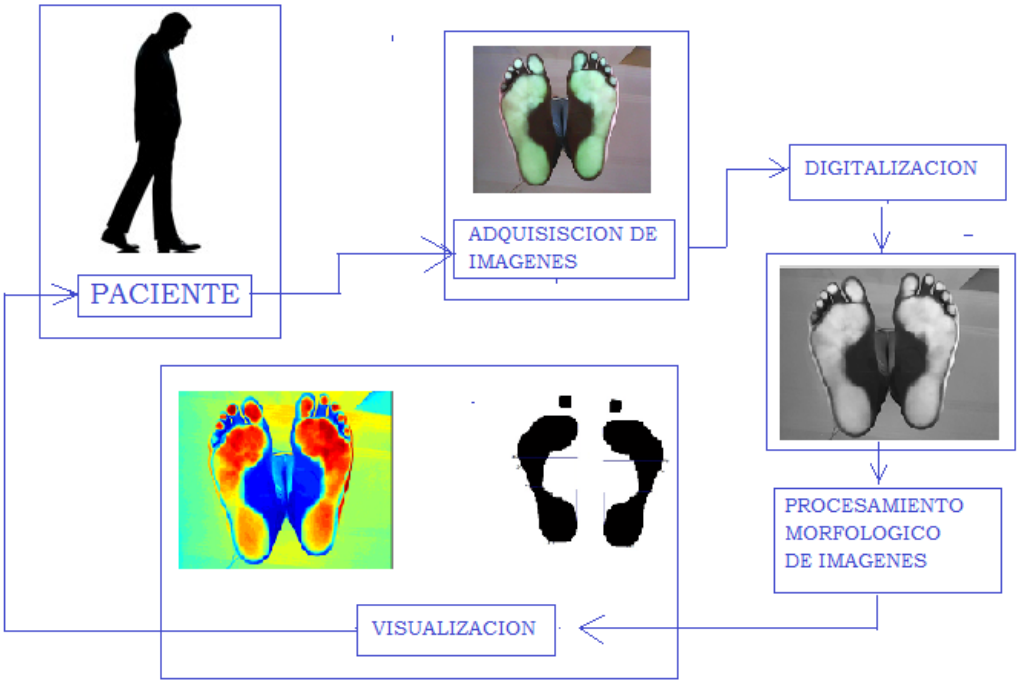


Fig. (2 : 13) Diagrama a bloques del sistema [Autores].

2.4.1 PODOMETRO PLANTEADO

El sistema electrónico propuesto no intenta sustituir la exploración clínica ni otras exploraciones podológicas o radiológicas, sino que es un medio complementario eficaz la misma que puede ayudarnos a un mejor conocimiento de las afecciones de los pies.

Un podómetro que nos permita obtener el mapa de presiones y además toda su morfología es decir datos y medidas de acuerdo a la valoración del pie, debe contar con las siguientes características, aunque recordemos que no todos los sistemas cumplen con dichas especificaciones pues no existe un estándar a seguir, aunque lo ideal para un sistema de este tipo es:

- Fácil de usar e interpretar: Esto ayudará a que el paciente pueda tener una idea de lo que sucede con su distribución de peso, y la forma de pisada que realiza.
- Rápido y sencillo: Son objetivos para pacientes de edad avanzada en donde los resultados es casi inmediato.

• Amigable al paciente y no invasivo: Equipo diseñado para que genere en el paciente la confianza requerida y nos brinde datos que sean repetibles y que el análisis esté disponible en todo momento.

• Portátil: Ubicarse cerca de personas que en su caso sea necesario o llevarlo a otros lugares para demostraciones o exposiciones.

• Ayuda a la comunicación médico/paciente: El médico podrá determinar y explicar con mayor facilidad al paciente cuál es su problema y el objetivo a tratamiento a llevar para mejorar los diferentes tipos de afecciones que el podómetro electrónico determina.

• Educación del paciente sobre su tratamiento: El paciente conocerá y creará conciencia sobre la importancia de su tratamiento.

• Económico: Como todo sistema se busca el menor de los costos.

2.4.2 METODOLOGIA.

La realización de este dispositivo llamado Podómetro Electrónico MV7000, involucrara el desarrollo de diferentes etapas:

- Adquisición de las imágenes.
- Digitalización de las imágenes.
- Procesamiento de las imágenes (algoritmos computacionales)

La captura final de la imagen que determina la forma de la pisada nos brinda resultados favorables que nos permite hacer el tratamiento morfológico del pie es decir procesamiento para obtener los distintos parámetros que cataloguen la forma de la pisada con las diferentes patologías analizadas anteriormente y con la valoración de los niveles de intensidad del color de la imagen para obtener y poder diferenciar el área de mayor presión.

- **ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES.**

Es de vital importancia que la presente etapa sea la más adecuada, ya que de esta acción dependerán las futuras acciones y resultados. La forma como se obtiene la imagen a tratar se describe en el punto 3.1.

Para esta la primera etapa, la adquisición de las imágenes de la constitución de la planta del pie, nos basaremos en el principio con el que se maneja el podoscopio, el cual

consiste en una placa transparente, en cuyos bordes se encuentra iluminada donde circula la luz a través de ella, mediante la relación presión – intensidad que fue descrito por Betts.

- **DIGITALIZACIÓN DE LAS IMÁGENES.**

En esta etapa vamos a proceder como parte de la preparación de la información, lo que básicamente se pretende realizar es el filtrado y la binarización, en donde su aplicación se verá con más detalle en el capítulo 3. Sin embrago a continuación se presentan las principales características de esta etapa, que la denominamos tratamiento de las imágenes que básicamente es la aplicabilidad de las técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimientos de patrones.

- **PROCESAMIENTO MORFOLÓGICO.**

El procesamiento morfológico de imágenes digitales, en la mayoría de situaciones, es utilizado sobre imágenes binarias y muy poco sobre aquellas de tonos gris. Por ello su uso se orienta a la extracción de componentes de imágenes útiles, con la finalidad de representar o describir forma de regiones tales como: extracción de bordes, llenado de regiones, esqueletos, cercos convexos, adelgazamiento, dilatación entre otras, se presentara la forma de implementación es a partir de subrutinas de programación a través del software de computación científica Matlab, todo esto con la finalidad de realizar un pre procesamiento sobre las imágenes y lograr la supresión del ruido, para destacar la estructura de objetos a partir de combinaciones de operaciones de dilatación y erosión, así como la extracción del esqueleto.

De esta manera, se establece un sistema de valoración de la planta del pie, valiéndonos del modelo de Hernández corvo aplicado a la imagen obtenida luego del tratamiento de las imágenes respectivas.

Lo que se obtienen son medidas muy útiles para diferenciar pies normales y patológicos, en donde normalmente los podólogos determinan de una forma manual la longitud de los marcos referenciales en la valoración del pie para su posterior valoración y así lograr un determinación fiable, repetible e imprimible de los resultados obtenidos por nuestro prototipo.

3

Diseño del Software.

En éste capítulo se presenta el software que permite el procesamiento de las imágenes obtenidas del podómetro electrónico MV 7000, cuyas características son:

- Obtener una imagen en la que se pueda apreciar la distribución de presiones sobre la planta del pie.
- Valorar las dimensiones del pie para obtener su índice de cavidad y determinar el tipo de pie.

El software[1] está desarrollado en el lenguaje de programación Matlab 2013b, software matemático elegido por sus prestaciones, y al tratamiento a las imágenes obtenidas a partir del hardware[2] presentado en el capítulo anterior, para cambiar su color y determinar tamaños, lo que conlleva a los resultados buscados.

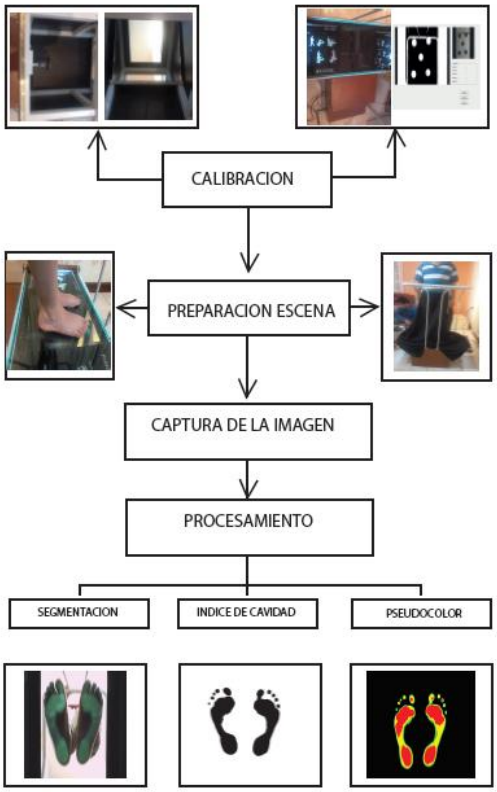


Fig. (3 : 1). Esquema General del Equipo. Fuente [Autores].

[1] Software: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tereas en una computadora.
[2] Hardware: Conjunto de componentes que conforman la parte material de una computadora.

En la figura 3.1 se muestra una descripción de los pasos que se ha seguido para la elaboración del software que cumple los dos objetivos mencionados anteriormente, dividiendo ésta descripción en tres secciones, siendo la primera destinada a tratar brevemente el tema de calibración de la imagen, y las otras dos para exponer el proceso para visualizar la distribución de presiones y obtener el índice de cavidad del pie.

3.1 ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES.

En la presente etapa se hace énfasis a la forma como se obtiene la impresión plantar, como ya se habló de la parte estructural de la captura de la imagen y los procesos físicos que intervienen, esto en el punto 2.3, por lo tanto para lograr una buena imagen se debe trabajar en el manejo y control de la escena, primeramente se debe intervenir en los siguientes puntos.

- El ambiente de iluminación, debe ser controlado.
- Previa a la captura se debe disponer de una manta que recubra los pies, de manera que se logra que no haya incidencia de luz.

La forma de pisada correcta por parte del paciente es hacia fuera, debido a que el paciente se encuentra en posición bípeda, dicha pisada deberá estar lo más recomendable centrada en la zona de captura y con la dirección de los metatarsianos hacia fuera, como se indica en la siguiente figura, y se describen de forma detallada en el desarrollo del protocolo del equipo, punto 3.5.

Fig. (3 : 2). Esquema de la postura del pacinte. Fuente [Autores].

3.1.1 CAPTURA - CALIBRACION DE LA IMAGEN.

En el proceso de calibración de la cámara, no es suficiente que la cámara este enfocando al vidrio y por consecuencia a la zona de pisada, si no que más bien deberá estar enfocando al espejo a una distancia calibrada, la misma que se la determina solamente con el desarrollo del software, el mismo que se verá más adelante.

Fig. (3 : 3). Forma de captura, disposición de la cámara. Fuente [Autores].

El primer paso es la preparación de la escena la misma que consta en hacer uso de la manta y realizar el tapado de los pies, considerando que la manta no debe estar en contacto con la superficie de refracción (vidrio), y eso se logra observando la interfaz de la cámara y tomar en cuenta que en dicha imagen debe estar solo la imagen plantar, libre de elementos externos que a lo posterior dificultan el procesamiento.

Para la captura de la imagen, consta de una cámara digital básica con un sensor de 1 MP, la cual nos brinda imágenes con una resolución de hasta 1280x720 pixeles, cuya posición en el equipo es tal cual como se indicó en el punto 2.3, con el enfoque de la cámara hacia el espejo, y por el proceso de refracción total interna antes mencionado se logra la captura de la superficie plantar en un tono verdoso el mismo que corresponde al color interno del vidrio, como se indica en la siguiente figura.

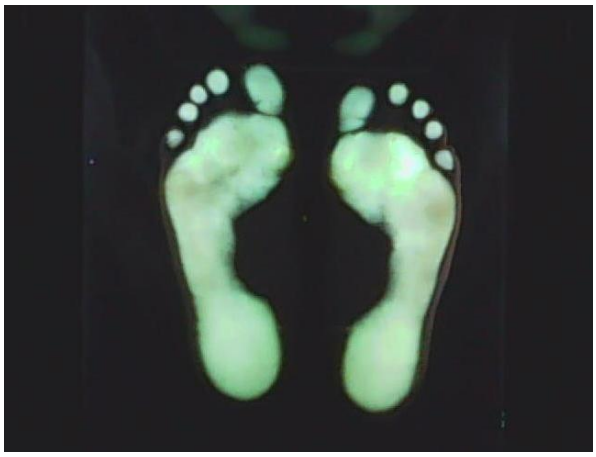


Fig. (3 : 4). Imagen Capturada. Fuente [Autores].

Debido a que la imagen captura es la del reflejo de un espejo, y debido a la ubicación de la cámara al momento de la captura, dicha imagen puede resultar deformada por lo que se conoce como efecto **barril**[3], esto hace que terminen viéndose afectadas las dimensiones verticales de los elementos que componen la imagen, es por eso que se procede a realizar la calibración respectiva para minimizar la distorsión.

En el equipo, la calibración de la cámara se realiza manualmente ajustando el ángulo de la cámara, y que para verificar la calibración se ha implementado una etapa de software que nos ayuda a comprobar la corrección realizada.

3.1.1.2 CALIBRACION DE LA CAMARA

Esta parte del software se basa en la captura de una imagen de cinco círculos distribuidos en la zona de captura, cuyos radios son previamente conocidos, éstos círculos no solo nos ayudarán en la comprobación de la reducción del efecto barril sobre la imagen, sino que sus medidas también nos servirán como base para más adelante poder convertir las dimensiones en pixeles con las que trabaja el software de análisis, a dimensiones en centímetros.

Fig. (3 : 5). Ubicación de los Círculos en la Zona de pisada. Fuente [Autores].

Lo que el software de comprobación hace, es tomar una fotografía de los círculos y posteriormente comprobar las dimensiones horizontal "X" y vertical "Y" de cada uno de éstos, si existiese el efecto barril, las dimensiones “Y” serán menores o mayores a las dimensiones “X”, por otra parte, mientras más cercanos sean los valores de “X” y “Y” entre sí, significará que es menor la distorsión en la imagen. Esta diferencia entre los valores “X” y “Y” nos la proporcionará el programa, indicándonos si es o no aceptable la ubicación de la cámara.

[3] Efecto barril: característica que se genera debida a la distorsión perspectiva que se puede presentar en la imagen, conocido también como distorsión de lente o distorsión esférica en óptica.

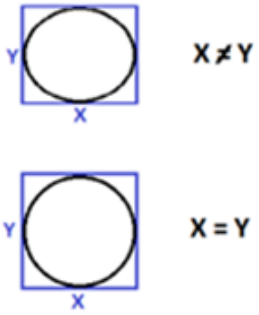


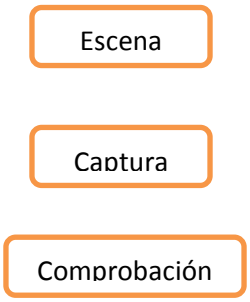
Fig. (3 : 6). Diferencia entre imagen con y sin distorsión. Fuente [20].

Es importante considerar la resolución de las imágenes capturadas, pues al tener una mayor resolución se puede tolerar una mayor diferencia entre las dimensiones horizontal y vertical de éstas, así en una imagen de 1280x720 pixeles[4], una diferencia de ±5 pixeles es imperceptible, no ocurre lo mismo en una imagen con resolución 640x480 donde los mismos 5 pixeles de diferencia representan un mayor porcentaje de la imagen, razón por la cual, todas las imágenes capturadas y trabajadas por el equipo construido son de la mayor resolución posible que nos brinda la cámara usada, es decir 1280x720.

PROCESO DE CALIBRACION

Captura una fotografía de varios círculos, los mismos que se miden para comprobar sus dimensiones y así corregir un posible efecto de distorsión.

ALGORITMO



ESCENA

a. Colocar los círculos de calibración sobre la zona delimitada de captura del quipo
b. Encender la cámara
c. No encender las lámparas fluorescentes

[4] Píxel: es la más pequeñas de las unidades homogéneas en color que componen una imagen de tipo digital.

CAPTURA

a. Iniciar la cámara
b. Captura de la imagen (RGB)
c. Conversión a escala de grises
d. Asignación de valor de umbral para binarizar
e. Binarización de la imagen
f. Negación de la imagen binarizada
g. Mostrar la imagen
h. comprobar que la imagen contiene únicamente los círculos
a. Si?: Continuar a COMPROBACION
b. No?: Modificar el valor de umbral para binarizar, volver al paso 5

COMPROBACION

a. Se obtiene las propiedades de la imagen binaria
b. Se crea un vector conteniendo los tamaños horizontales de los círculos
c. Se crea un vector conteniendo los tamaños verticales de los círculos
d. Se dibujan los cuadros que encierran a los círculos
e. Se enumeran los círculos
f. Se muestran los valores de los tamaños de los círculos
g. Se guardan los 2 vectores en el archivo **'medida.mat'**
h. Verificamos la diferencia entre las medidas horizontal y vertical de cada circulo

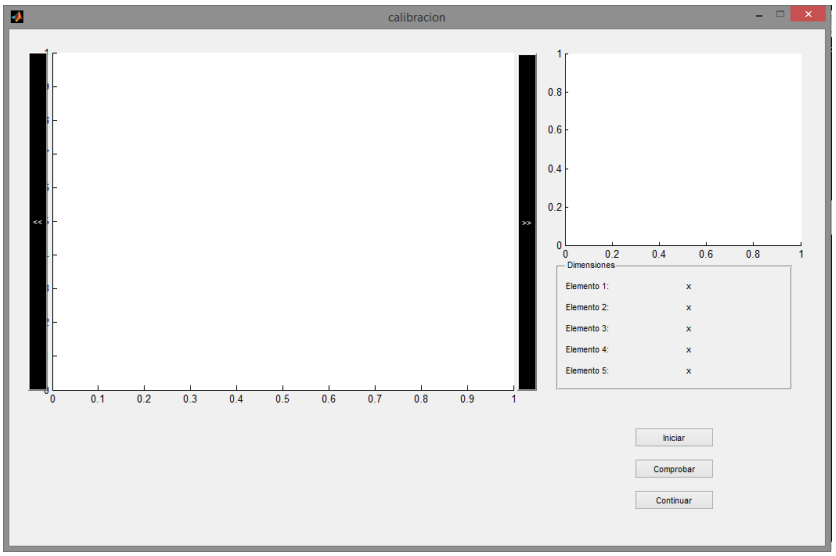


Fig. (3 : 7). Interfaz de la etapa de calibración. Fuente [Autores].

El código completo de ésta etapa lo podemos encontrar en los anexos, y corresponde al archivo “calibracion.m”. En la figura 3.7 se aprecia la interfaz creada para la etapa de calibración.

3.2 DIGITALIZACION DE LAS IMAGENES.

Una vez calibrada la cámara, el equipo está listo para recibir a los pacientes y valorar sus pies, el procesamiento aplicado a las impresiones plantares, sigue un conjunto de etapas, como se ve en el diagrama a continuación.

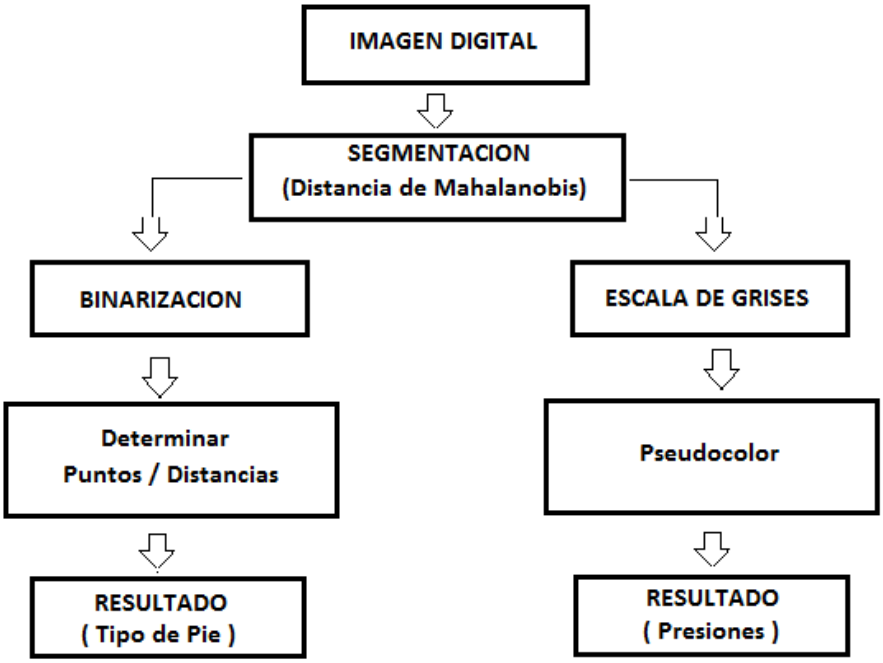


Fig. (3 : 8). Forma como se Digitaliza las Imágenes. Fuente [Autores].

Como se aprecia en el diagrama, existen dos cosas que se buscan obtener con el software, como ya se había mencionado previamente, una es valorar el tipo de pies, y la otra determinar la distribución de la presión sobre las plantas de los pies.

La imagen capturada posee ciertos reflejos, especialmente en los bordes del pie, como se puede apreciar en la figura 3.4. Por lo que se hace necesario segmentar la imagen y extraer la huella plantar, sin reflejos, para así poder aplicar una capa de pseudocolor solo al área deseada, además para poder obtener medidas correctas del pie para determinar su morfología. Debido a las características de la imagen capturada, se ha optado por realizar una segmentación en base al color, pues es clara la diferencia entre el color verde de la huella y el color que la rodea.

3.2.1 SEGMENTACION DE LOS PIES

Uno de los métodos más efectivos de segmentación por color y fáciles de implementar, es el de la aplicación de la **distancia de Mahalanobis[5].**

DISTANCIA DE MAHALANOBIS

Este método permite calcular "distancias" entre colores, estas distancias son ponderadas por la importancia de una Matriz de referencia, dicha matriz corresponde a la gama del color principal a ser extraído, en nuestro caso el color verde del pie, que se compara con el resto de pixeles que componen la imagen. [21].

La distancia de Mahalanobis viene dada por la expresión:

$$d(ij) = (Wi - Wj)' V^{-1} (Wi - Wj) \tag{3.1}$$

Donde $d(ij)$ es la distancia entre los elementos Wi y Wj, Wi representa los valores de la matriz total a ser comparada, Wj es el valor medio de la matriz de referencia, y V^{-1} es la matriz inversa normalizada de covarianzas obtenida a partir de la matriz de referencia.

La covarianza corresponde a una medición estadística que indica la "fuerza" de la correlación entre 2 o más variables aleatorias, que para un conjunto de más de 2 variables aleatorias se define como: [21].

$$V_{ij} = cov(X_i, X_j) = \sum_{k=1}^{N} \frac{(xi_k - \overline{xi})(xj_k - \overline{xj})}{N} \tag{3.2}$$

Esta consideración es importante porque nos permitirá trabajar con las imágenes RGB[6] y sus tres planos de color, aunque podemos obviar estos cálculos, pues en Matlab se puede obtener la matriz de covarianza directamente usando el comando "cov". Comprendido lo expuesto anteriormente, podemos decir que nuestra matriz total viene a ser la imagen tomada de los pies que podemos ver en la figura 2, la matriz de referencia debe formarse entonces por puntos ubicados dentro de la zona verde, es decir del pie.

[5] Prasanta Chandra Mahalanobis: (1893 - 1972), científico de la India, conocido como físico por formación, estadístico por instinto, ya que uso ideas sencillas para desarrollar modelos econométricos en países en vías de desarrollo.

[6] RGB: Red, Green y Blue, representa el modelo cromático que consiste en representar varios colores a partir de la mezcla de estos trescolores primarios.

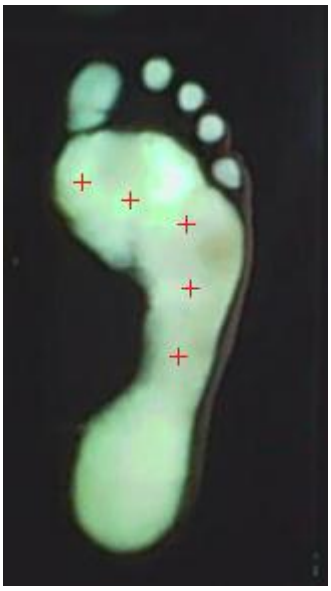


Fig. (3 : 9). Selección manual de puntos. Fuente [Autores].

Si la selección de los puntos que formaran nuestra matriz de referencia fuera manual, la figura 6 mostraría una buena representación de los puntos seleccionados, sin embargo la selección manual significaría un incremento en el tiempo empleado para obtener los resultados, por lo cual la selección de estos puntos debe realizarse automáticamente por el software.

Nuestra propuesta para lograr esto empieza por dividir la imagen para tener dos partes, una que contenga solo el pie derecho y la otra el pie izquierdo, de estas dos nuevas imágenes usaremos solo las partes superiores, por el hecho de contener las partes más gruesas de las huellas de los pies, luego procedemos a binarizar[7] estas dos imágenes.

Fig. (3 : 10). Parte superior del pie derecho binarizada. Fuente [Autores].

[7] Binarización: Consiste en convertir la imagen digital en una imagen en blanco y negro, de tal manera que se preserven las propiedades esenciales de la imagen.

Después procedemos a erosionar[8] la imagen, esto para eliminar cualquier mancha blanca que existiese y también los dedos, con el objetivo de que en la imagen quede únicamente el torso de la huella. Como la imagen erosionada ha perdido su ancho original, la dilatamos[9] en la misma cantidad que se realizó la erosión, así nos aproximaremos al ancho real del pie.

Fig. (3 : 11). Puntos buscados sobre la imagen erosionada y luego dilatada. Fuente [Autores].

Al ser esta imagen representada por valores de 0's y 1's, es fácil detectar los bordes, específicamente necesitamos encontrar los puntos más externos a la derecha y a la izquierda del patrón blanco.

El algoritmo usado para determinar los puntos se puede explicar fácilmente si consideramos una imagen binarizada de ejemplo, como la de la figura 8. Un pixel blanco representa un 1, mientras un pixel negro representa un 0. En la figura 8 podemos observar una pequeña imagen de 9x7 pixeles, de la cual encontraremos su punto superior.

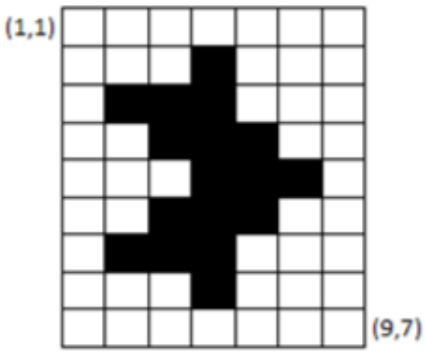


Fig. (3 : 12). Imagen binarizada 9x7 pixeles. Fuente [22].

[8] Erosión: es la operación morfológica dual a la dilatación. Es la transformación morfológica que combina dos conjuntos, usando el vector resta de los elementos del conjunto.

[9] Dilatacion: transformación morfológica que combina dos conjuntos usando adicion de vectores de los elementos del conjunto.

Considerando que toda la parte externa de la imagen corresponde a un 1, realizamos un barrido de los pixeles hasta encontrar un 0, donde el valor de los índices de barrido de filas y columnas al momento de pasar de 1 a 0, nos indica las coordenadas del punto que buscamos. La figura 9 ilustra el procedimiento explicado, siendo las coordenadas del punto que buscamos las correspondientes a (2,4). Para encontrar el resto de puntos solo cambiamos el orden de realización del barrido de filas y columnas. También debemos darnos cuenta de que si la imagen estuviera invertida, es decir, si los valores de 1 fueran 0, y los valores de 0 fueran 1, el procedimiento seria el mismo, con el único detalle de que se buscaría un cambio de 0 a 1. [20]

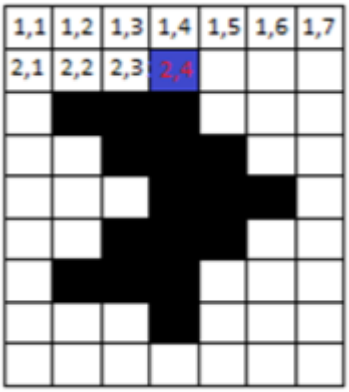


Fig. (3 : 13). Determinación del punto superior. Fuente [20].

Encontrados los dos puntos, usamos sus coordenadas para encontrar la ecuación de la recta que pasa por ellos, recordemos que: [20]

$$y = \frac{y2-y1}{x2-x1}(x - x1) + y1 \qquad (3.3)$$

Al ser "x" un vector de n cantidades comprendidas entre los dos puntos, podemos obtener un vector de valores "y", así como resultado, cada par "x" y "y" representa un punto dentro del pie.

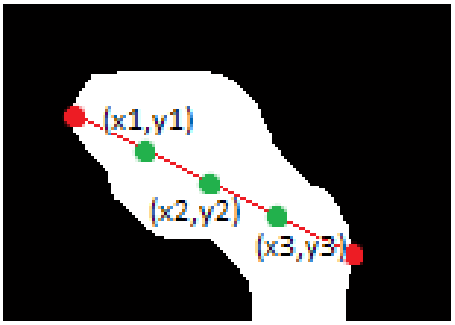


Fig. (3 : 14). Puntos dentro del pie. Fuente [Autores].

Al ser determinados los puntos dentro del pie, podemos formar nuestra matriz de referencia en base a la cual se segmentará la imagen, esta matriz constara de 3 columnas, cada una contiene el valor R, G o B correspondiente al punto, y existirán tantas filas como puntos se hayan seleccionado.

Por ejemplo, si en la imagen capturada por el podometro se toman 6 puntos, la matriz de referencia seria nuestra área de interés o ROI[10] para encontrar la distancia de Mahalanobis con respecto a la imagen entera, para esto aplicamos el proceso descrito previamente.

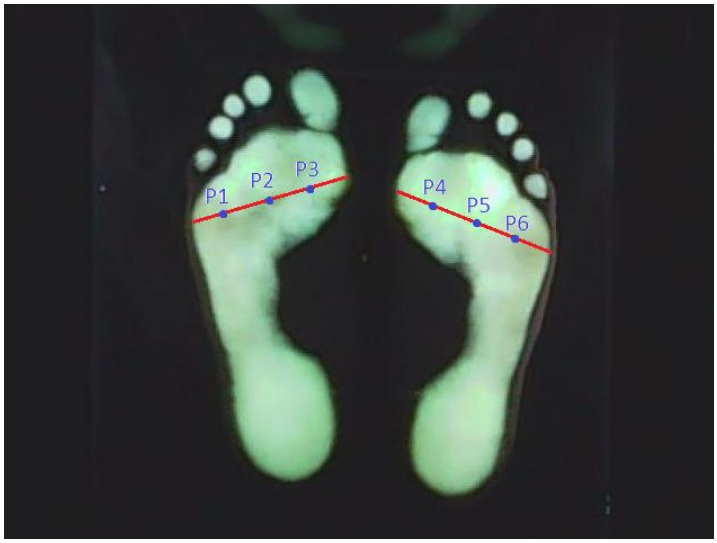


Fig. (3 : 15). Puntos para determinar ROI. Fuente [Autores].

Y nuestra matriz de referencia o ROI es :

$$ROI = \begin{array}{c|ccc} & \boldsymbol{R} & \boldsymbol{G} & \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{P1} & 172 & 206 & 169 \\ \boldsymbol{P2} & 189 & 223 & 196 \\ \boldsymbol{P3} & 167 & 209 & 171 \\ \boldsymbol{P4} & 172 & 217 & 194 \\ \boldsymbol{P5} & 180 & 236 & 189 \\ \boldsymbol{P6} & 185 & 253 & 196 \end{array} \quad (3.4)$$

Luego de conseguir esta matriz, resta obtener su covarianza, luego la inversa, y después normalizarla, para finalmente aplicar la ecuación de la distancia de Mahalanobis y obtener el valor de la distancia de cada punto respecto a la matriz ROI, dependiendo de umbral establecido, si la distancia resultante es mayor a éste, se le asigna el valor 0 a las 3 capas RGB para q el pixel resultante sea negro, de lo contrario, si la distancia es igual o menor al umbral establecido, se deja al pixel sin modificarlo, el resultado es una imagen en la que lo único que se puede apreciar, es la forma perfecta del pie.

[10] ROI: Matriz de referencia. Conformada por cada punto de referencia ROI= P1.

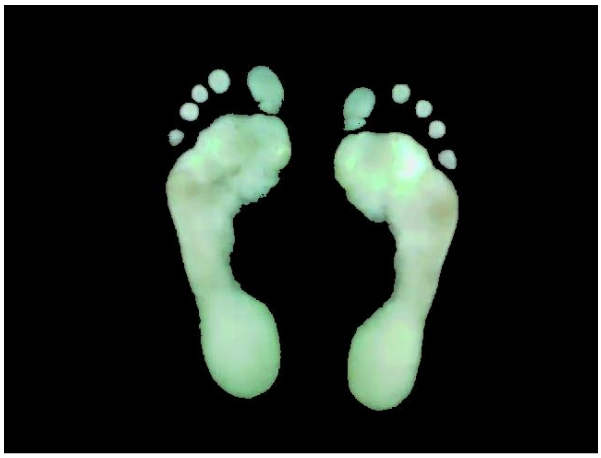


Fig. (3 : 16). Imagen Segmentada. Fuente [Autores].

PROCESO DE SEGMENTACION.

a. Iniciar la cámara
b. Captura de la imagen (RGB)
c. Obtenemos las dimensiones de la imagen; **a**=ancho, **b**=alto
d. **d** = entero próximo de **b/2**
e. **e** = entero próximo de **a/2**
f. se crea **fotom1** desde el pixel **1,1** hasta el pixel **e,d** (cuarto superior izquierdo)
g. se crea **fotom2** desde el pixel **1,d** hasta el pixel **e,b** (cuarto inferior izquierdo)
h. convertimos **fotom1** y **fotom2** a escala de grises
i. creamos variables de umbral para binarizar las imágenes
j. **bw1** es la imagen binaria obtenida a partir de **fotom1**
k. **bw2** es la imagen binaria obtenida a partir de **fotom2**
l. se erosionan (desgastar los bordes de los elementos) las dos imágenes
m. se dilatan (incrementar los bordes de los elementos) las dos imágenes
n. encontramos los puntos más extremos a la izquierda y derecha en las imágenes

Para el lado izquierdo:

a. conteo descendente de columnas desde **d** hasta **1**
b. conteo descendente de filas desde **e** hasta **1**
c. si el pixel **(filas,columnas)** es igual a 1; **p1_i= (filas,columnas)**

d. conteo ascendente de **columnas** desde **1** hasta **d**
e. conteo ascendente de **filas** desde **1** hasta **e**
f. si el pixel **(filas,columnas)** es igual a 1; **p2_i= (filas,columnas)**
g. repetimos el procedimiento desde a. para el lado derecho
o. se crea un vector **x**, inicia en **p1_i** y finaliza **p2_i**

p. obtenemos la pendiente usando los puntos **p1_i** y **p2_i**
q. conocidos un punto y la pendiente, encontramos la ecuación de la recta y determinamos **y**
r. **lr** = longitud del vector **x**

Encontramos nuestra región de interés **ROI**

a. conteo ascendente de **f** desde 2 hasta **lr-1**
b. creamos la matriz **color1** que contiene **[R G B]**
c. R = fotom1(y(1,f),x(1,f),1)
d. G = fotom1(y(1,f),x(1,f),2)
e. B = fotom1(y(1,f),x(1,f),3)
f. ROI = ROI & **color1**
s. Repetimos los pasos desde el 15 para **fotom2**
t. Se obtiene la matriz de covarianza de **ROI**
u. Se obtiene la inversa de la matriz de covarianza
v. Normalizamos la matriz resultante = **MCi**
w. Determinamos el valor medio de **ROI**
x. Conteo ascendente de **f** desde 1 hasta **a**
y. Conteo ascendente de **c** desde 1 hasta **b**
z. Formamos un punto **z** con los índices de conteo **f** y **c**
aa. Determinamos la distancia de Mahalanobis
bb. Si **d > 0.03** excluimos el pixel y lo hacemos negro
cc. Obtenemos la imagen segmentada **segment**

Para la realizar todo este algoritmo se han implementado dos funciones, “mahalanobis.m” y “DMaha.m”, en la primera se cumple todo el proceso para obtener la matriz ROI y se llama a la segunda que realiza el cálculo de la distancia propiamente dicha.

3.3 PROCESAMIENTO MORFOLOGICO DE LAS IMÁGENES.

3.3.1 TIPO DE PIE

La clasificación más común de los pies nos presenta los siguientes tipos:

- Normal
- Plano
- Cavo

Estos se definen según la cavidad existente en la huella de la planta del pie. Nuestro software realizará esta valoración sobre la imagen capturada de los pies haciendo uso del índice de Hernández-Corvo el cual se obtiene usando dos dimensiones obtenidas del pie, las mismas que se indican en la figura 3.17

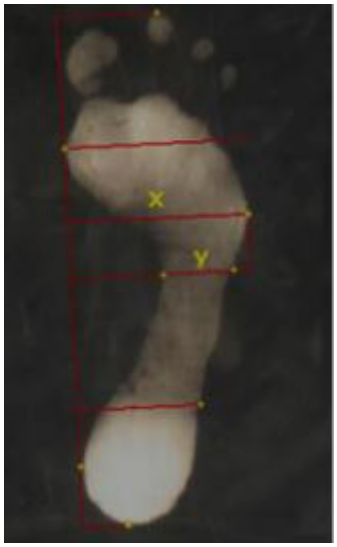


Fig. (3 : 17). Forma de obtener IC, principio de H. Corvo. Fuente [15].

El índice viene dado por:

$$IC = \frac{X - Y}{X} x100\% \tag{3.5}$$

Según el valor de IC se clasificará al pie como:

IC (%)	TIPO
0 – 34	Pie Plano
35 – 39	Pie Plano-normal
40 – 54	Pie Normal

55 – 59	Pie Normal-cavo
60 – 74	Pie Cavo
75 – 84	Pie Cavo Fuerte
85 – 100	Pie Cavo Extremo

Tabla (3 : 1). Clasificación del tipo de Pie. Fuente [19].

Entonces, para valorar el tipo de pie, lo primero es determinar los puntos importantes del pie sobre la imagen, para esto volvemos a dividir la imagen, esta vez ya segmentada, en pie derecho y pie izquierdo, y luego usamos el mismo algoritmo explicado anteriormente para obtener los puntos extremos al segmentar el pie.

Encontrados los puntos y siendo conocidas sus coordenadas dentro de la matriz, usamos nuevamente la ecuación de la recta para graficar la rectas entre los puntos correspondientes, además podemos usar sus coordenadas para calcular las distancias entre ellos, como si de un plano cartesiano se tratase, como por ejemplo.

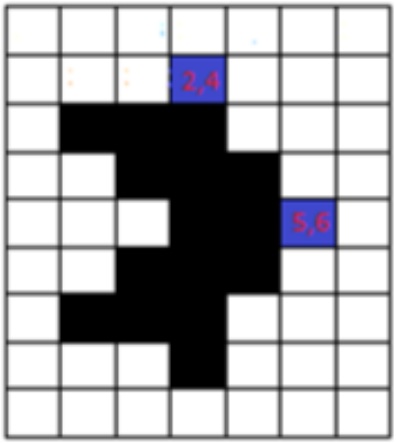


Fig. (3 : 18). Aplicación del ecuación de la recta. Fuente [20].

En el ejemplo de la figura 15, podemos observar que la distancia entre los pixeles azules es: [20]

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{3.6}$$

Es decir, para la figura del ejemplo:

$$d = \sqrt{(5-2)^2 + (6-4)^2} = 3.6 \tag{3.7}$$

El valor 3.6 es una distancia medida en pixeles, por lo que es necesario convertir esta cantidad a centímetros, para ello recordamos la etapa de calibración donde usamos unos círculos cuyos tamaños en centímetros eran conocidos, al capturar la imagen de estos círculos obtenemos su dimensión en pixeles, entonces gracias a estas dos medidas podemos convertir cualquier medida en pixeles a su equivalente el centímetros simplemente usando una regla de 3.

Al final, la imagen resultante la observamos en la figura 3.19. Haciendo uso de todas las medidas pertinentes obtenemos el índice de cavidad de Hernández-corvo y la longitud máxima del pie.

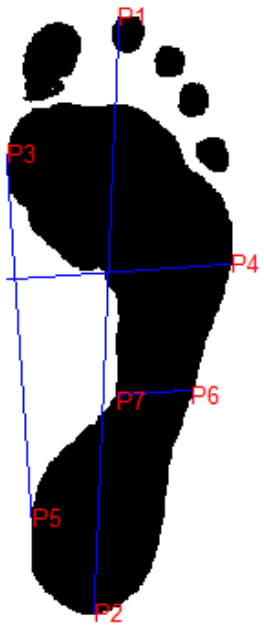


Fig. (3 : 19). Imagen Resultante. Fuente [Autores].

PROCESO DE OBTENCION DEL INDICE DE CAVIDAD.

a. Convertir **segment** a escala de grises
b. Binarizar la imagen = **mat**
c. **a** = ancho de la imagen
d. **b** = alto de la imagen
e. **l =** entero de **a/2**
f. **imgu** = **mat** desde el pixel **1,1** hasta el pixel **l,b**
g. **imgd** = **mat** desde el pixel **l+1,1** hasta el pixel **a,b**
h. **a1, b1** = tamaño de **imgu**
i. **a2, b2** = tamaño de **imgd**

j. Encontramos el punto superior
    a. conteo descendente de **filas** desde **a** hasta **1**
    b. conteo descendente de **columnas** desde **b** hasta **1**
    c. si el pixel **(filas,columnas)** es igual a 1; **p1= (filas,columnas)**
k. Encontramos el punto inferior
    a. conteo ascendente de **filas** desde **1** hasta **a**
    b. conteo ascendente de **columnas** desde **1** hasta **b**
    c. si el pixel **(filas,columnas)** es igual a 1; **p2= (filas,columnas)**
l. Encontramos el punto lateral izquierdo
    a. conteo descendente de **columnas** desde **b1** hasta **1**
    b. conteo descendente de **filas** desde **a1** hasta **1**
    c. si el pixel **(filas,columnas)** es igual a 1; **p3= (filas,columnas)**
m. Encontramos el punto lateral derecho
    a. conteo ascendente de **columnas** desde **1** hasta **b1**
    b. conteo ascendente de **filas** desde **1** hasta **a1**
    c. si el pixel **(filas,columnas)** es igual a 1; **p4= (filas,columnas)**
n. Encontramos el punto lateral inferior
    a. conteo descendente de **columnas** desde **b2** hasta **1**
    b. conteo descendente de **filas** desde **a2** hasta **1**
    c. si el pixel **(filas,columnas)** es igual a 1; **p5= (filas,columnas)**
o. Encontramos la pendiente entre los pares de puntos correspondientes
p. Determinamos las ecuaciones de las rectas
q. Graficamos las rectas
r. Determinamos las distancias entre los puntos
s. Se carga el archivo **'medida.mat'**
t. Se convierten las medidas en pixeles a centímetros
u. Aplicamos la fórmula del índice de Hernández-corvo
v. Se comprueba el rango de valor en el que se encuentra el índice
w. Se asigna el tipo de pie

Todo el algoritmo para obtener estos resultados se ha implementado sobre el script principal "Podometro.m", cuyo desarrollo e implementación están por separado llegando a obtener el mismo resultado, el código está claramente diferenciado gracias a los eventos callback correspondientes a los botones "IC Derecho" e "IC Izquierdo".

3.3.2 PRESIONES PLANTARES.

Para poder analizar la presión sobre las plantas del pie, aplicaremos sobre las impresiones plantares, una técnica de **pseudocolor**. El pseudocolor aplica capas de color a una imagen en escala de grises, esto es útil debido a que nuestros ojos pueden diferenciar mucho más fácilmente una imagen con colores, que una a blanco y negro.

Entonces, lo primero a hacerse, es convertir a escala de grises la imagen previamente segmentada de los pies, tener una imagen en escala de grises es parte fundamental de la aplicación de pseudocolor, y esta imagen la podemos conseguimos fácilmente en Matlab con el comando "rgb2gray".

Fig. (3 : 20). Imagen segmentada Escala de grises. Fuente [Autores].

La figura 3.20 nos muestra la imagen en escala de grises, donde un color más cercano al blanco representa una mayor presión, mientras que los colores más cercanos al negro, indican ausencia de ésta.

El pseudocolor, consiste en aplicar colores a una imagen según los valores en escala de grises de ésta, por ejemplo, tomamos una imagen en escala de grises, y a todos los pixeles con un valor por debajo de 128 le asignamos el color azul, mientras q a todos los pixeles con un valor igual o mayor a 128 le asignamos el color rojo.

Los colores a ser asignados a nuestra foto de las plantas de los pies, variaran del azul (menor presión) al rojo (mayor presión).

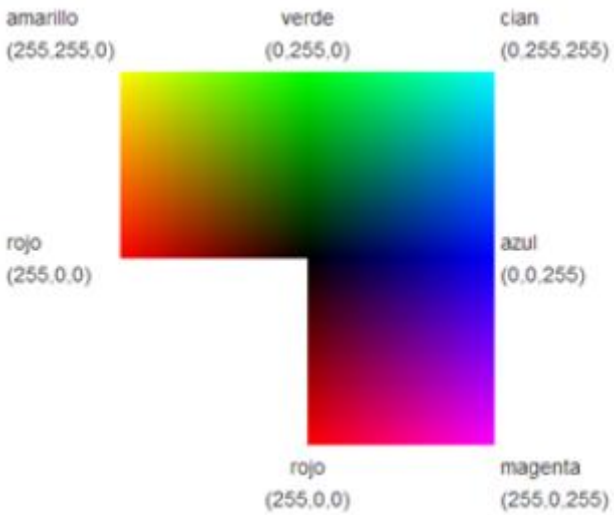


Fig. (3 : 21). Espectro RGB. Fuente [23].

Como vemos en la figura 3.21, las combinaciones RGB nos dan la posibilidad de pasar del azul al rojo por dos vías diferentes, en nuestro caso usaremos la vía superior, la cual nos brinda la posibilidad de adoptar más colores (cian, verde, amarillo).

El programa desarrollado nos brinda la opción de variar la cantidad de colores a ser aplicados a la imagen, a los que llamaremos niveles, la cantidad de niveles dependerá del valor "x" que usemos, donde:

$$niveles = 4x + 1$$

Procedemos a dividir el rango de grises (0 a 255) para la cantidad x a usarse para definir los colores aplicados, y también dividimos para la cantidad de niveles donde los limites inferior y superior de cada sección definirán que color le corresponde ser aplicado a cada pixel de la imagen que corresponde a ese nivel de gris.

Por ejemplo, si x=1, tendremos 5 niveles, c=255/1=255 y s=255/5=51.

"c" nos sirve para generar los colores a ser aplicados, esto mediante la construcción de una matriz, como tenemos 5 niveles, entonces nuestra matriz tendrá 5 filas, dado que conocemos los límites de color que son azul (0, 0,255) y rojo (255, 0,0) solo debemos ir adicionando la cantidad "c" a las columnas hasta llegar al valor máximo de 255, en el caso del ejemplo basta una iteración para esto.

Color	R	G	B
Azul	0	0	255

Cian	0	255	255
Verde	0	255	0
Amarillo	255	255	0
Rojo	255	0	0

Tabla (3 : 2). Valoración del color según RGB. Fuente [22].

La figura 3.23 nos ilustra la asignación del pseudocolor

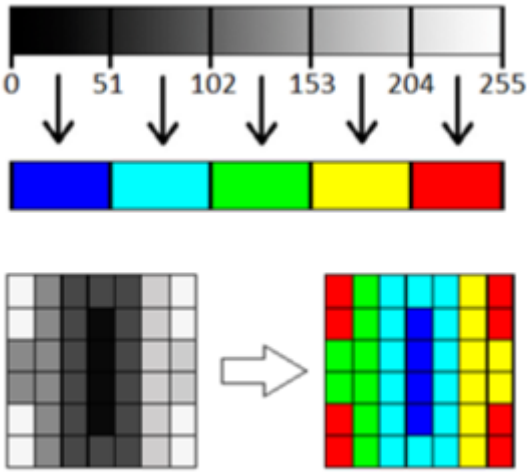


Fig. (3 : 23). Asignación del Pseudocolor. Fuente [22].

Para obtener la imagen en pseudocolor de la planta de los pies, se implementó la función “f_pcolor.m”, cuyo resultado es el siguiente:

Fig. (3 : 24) resultado de aplicar Pseudocolor a la imagen plantar. Fuente [Autores].

PROCESO DE OBTENCION DEL PSEUDOCOLOR

a. Convertir **segment** a escala de grises
b. Normalizamos la imagen (dividir para el valor maximo)
c. Multiplicamos la imagen por 255
d. Leemos el valor **fd** del formulario
e. Calculamos las secciones en cada intervalo (de R a G a B), **s = 255/fd**
f. Numero de niveles en total **lvl = (fd*4)+1**
g. Creamos la matriz de coeficientes **rgb** de tamaño **lvl** filas y 3 columnas
h. Iniciamos variables **inc=0**, **inc2=0**, **dec=255**, **dec2=255**
i. Conteo ascendente de **i** desde 1 hasta **lvl**

   Por cada iteración:

   a. Si **i <= fd**

      1. Inc=inc+s

      2. rgb(i,2)=inc-s

      3. rgb(i,1)=255

   b. Si **i>fd && i<=2*fd**

      1. dec=dec-s;

      2. rgb(i,1)=dec+s;

      3. rgb(i,2)=255;

   c. Si **i>2*fd && i<=3*fd**

      1. inc2=inc2+s;

      2. rgb(i,3)=inc2-s;

      3. rgb(i,2)=255;

   d. Si **i>3*fd**

      1. dec2=dec2-s;

      2. rgb(i,2)=dec2+s;

      3. rgb(i,3)=255;

j. Creamos la matriz **color** de tamaño igual a **segment**
k. **glv = 255/lvl**
l. **niv = 0**
m. Conteo ascendente de **hor** desde 1 hasta **a**

   por cada iteración:

   a. conteo ascendente de **ver** desde a hasta **b**

   por cada iteración:

   niv=0

b. conteo ascendente de **ind** desde 0 hasta **lvl-1**

por cada iteración:

1. niv = niv+glv
2. inf = ind*glv
3. sup = (ind+1)*glv
4. si **vg>inf** y **vg<=sup**; **color(hor,ver,1)=rgb(ind+1,1)**
5. si **vg>inf** y **vg<=sup**; **color(hor,ver,2)=rgb(ind+1,2)**
6. si **vg>inf** y **vg<=sup**; **color(hor,ver,3)=rgb(ind+1,3)**

n. Mostramos la imagen final

Una vez obtenida la representación de presiones con la imagen en pseudocolor, hay que normalizar estos valores, es decir, tomar el valor de máxima presión y representarlo como un 1. Para esto usamos la imagen en escala de grises, donde simplemente encontramos el valor máximo dentro de la matriz y dividimos toda la matriz que forma la imagen para este valor. Este procedimiento no solo sirve para valorar en base a una misma referencia a los diferentes usuarios del podómetro, sino que también nos valemos de esto para mostrar una superficie que nos indique estos niveles ya normalizados[11] de presión, como se ve en la figura 25.

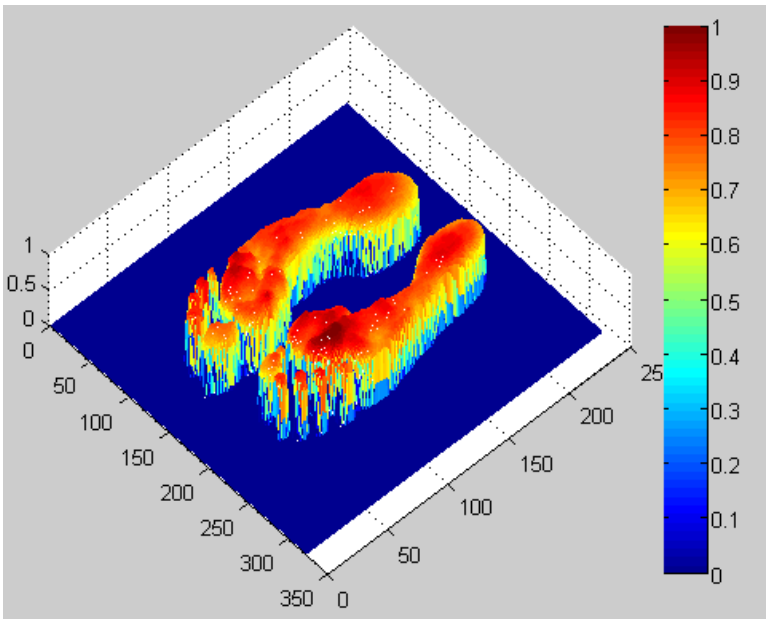


Fig. (3 : 25). Imagen de la superficie Plantar. Fuente [Autores].

[11] Normalización: Hace referencia a aquel o aquello que se ajusta a valores medios.

3.4 NORMAS Y ESTANDARES.

Luego de haber visto como se obtiene la captura de la imagen y como se realiza el procesamiento de las imágenes, se ha determinado como norma varios parámetros a considerar dentro del proceso de obtención de la imagen y preparación del paciente antes y después de ser analizado por el podómetro electrónico MV7000. A continuación se presentan aspectos a considerar dentro del proceso de captura y procesamiento de la superficie plantar:

3.4.1 DESCRIPCION FISICA.

CONFIGURACION.

El sistema del podómetro electrónico consiste en los siguientes componentes principales:

- El equipo
- Computador (incorporado Matlab 2013b)
- Una estación de trabajo del equipo – paciente (computador suministrada por la persona capacitada)

Fig. (3 : 26). Podómetro Electrónico MV7000. Fuente [Autores].

TAMAÑO Y PESO.

La siguiente tabla muestra información sobre el tamaño y el peso del Podómetro Electrónico MV 7000.

Unidad	A x A x P (cm)	Peso (Kg / libra)
Podómetro Electrónico MV 7000	50 x 135 x 90	54 Kg / 120 libras

Tabla (3 : 3). Características Generales del equipo. Fuente [Autores].

AREA DE INSTALACION.

Es necesario preparar una área de instalación que cumpla con las siguientes condiciones:

- El área de instalación debe estar libre de fuentes de vibración e interferencia electromagnética que podrían afectar al proceso de captura de imagen y procesamiuento de las mismas.
- El piso debe estar estable y debe soportar el peso del equipo.
- Revisar que este a nivel la superficie en donde será ubicado el podómetro.
- Al equipo se le deberá dar una área mínima de 3 m^2
- La estación de trabajo del usuario y el equipo deben estar ubicados en la misma sala.

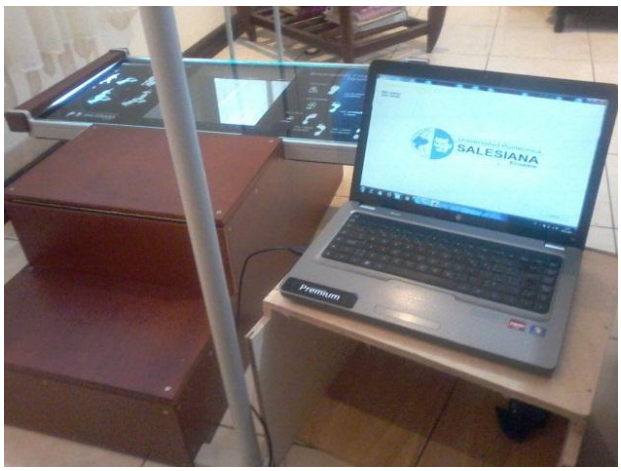


Fig. (3 : 27). Conectividad entre Equipo y PC. Fuente [Autores].

RECOMENDACIONES:

- Antes de cada proceso de captura de la imagen plantar realizar la respectiva calibración de la cámara.
- Verificar que la escena del área donde se alojan los pies no exista excesiva luz, todo esto comprobando con el tapado de los pies a través de la manta y realizando una captura previa de la superficie plantar.
- Después de cada sesión con el paciente y después de haber capturado la impresión plantar se deberá limpiar la zona refractante.
- Recordar a los pacientes que las barandas solo sirven para estabilizarse y ayudar en la subida al equipo, ya que para el proceso de captura deberán estar en posición de Bipedestación y totalmente relajados, de manera que refleja la posición natural de los pies y así representar las presiones sobre los pies.

3.4.2 INTERFAZ DEL PROGRAMA.

En esta sección se muestra la interfaz de todas las ventanas implementadas para el funcionamiento del equipo junto a la descripción de su uso.

La primera ventana es la de presentación, ésta corresponde al archivo “presentacion.m”

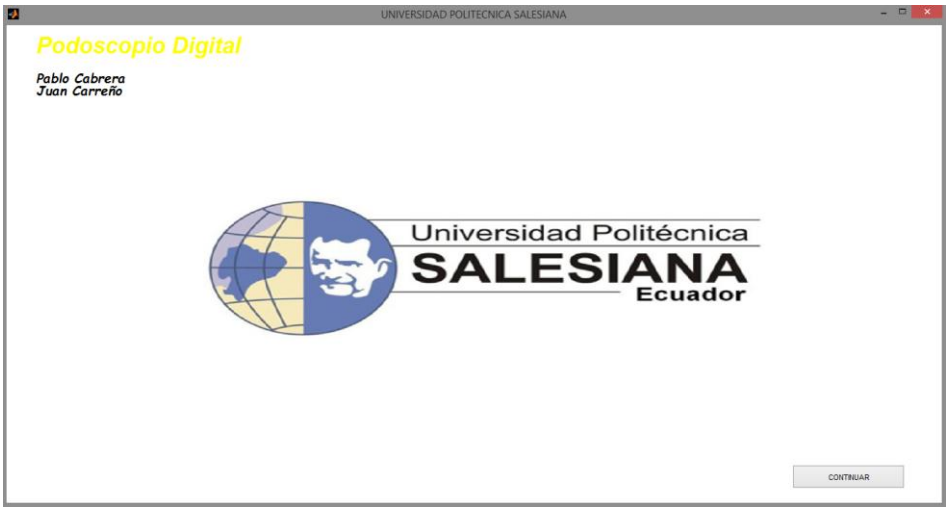


Fig. (3 : 28). Ventana principal del Software. Fuente [Autores].

Presionando el botón “CONTINUAR” la ventana de presentación se cierra y aparece la ventana de la etapa de calibración.

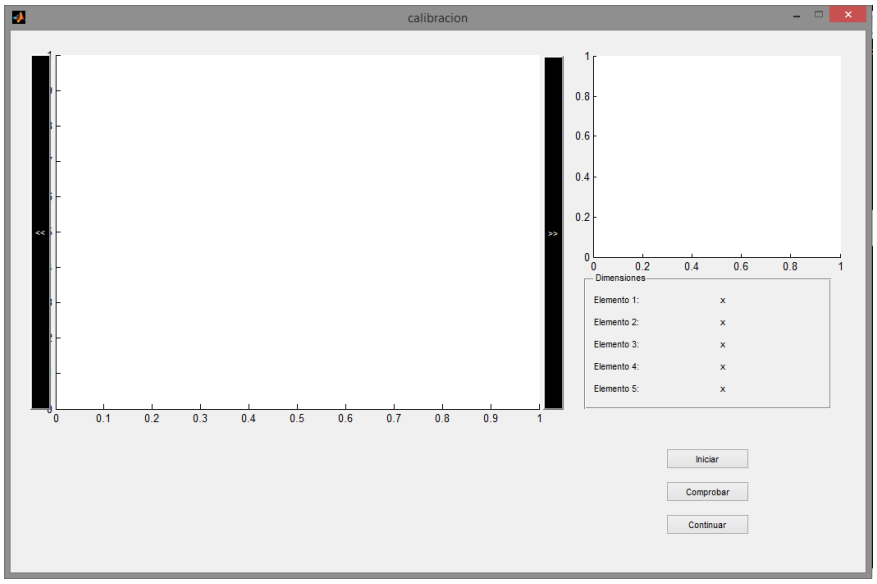


Fig. (3 : 29). Interfaz de calibración. Fuente [Autores].

En la ventana de calibración, contamos con 5 botones, el botón "Iniciar" nos permite iniciar la cámara, cuya visualización se muestra en el axes pequeño, la imagen se captura automáticamente y se muestra en el axes principal, junto al cual encontramos dos botones "<<" y ">>" que usamos para variar el umbral de binarización en caso de ser necesario, hasta obtener una imagen clara. Cuando la imagen sea la esperada, usamos el botón "Comprobar" para visualizar el resultado de la medición de los círculos de la imagen en pixeles y guardar estos valor en un archivo .mat. Por último el botón "Continuar" cierra la ventana de calibración y abre la ventana principal del equipo.

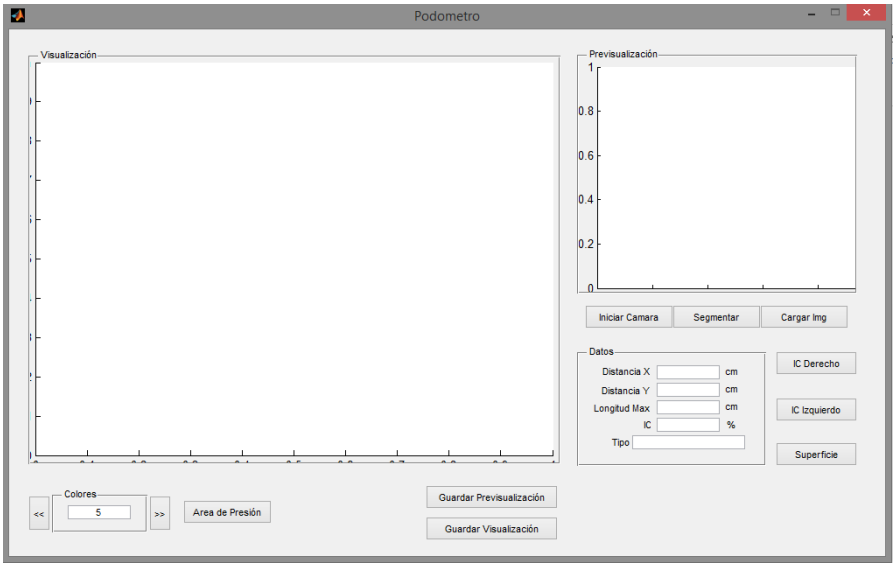


Fig. (3 : 29). Interfaz del procesamiento. Fuente [Autores].

La ventana principal cuenta con un total de 11 botones, el primero “Iniciar Camara” arranca la cámara conectada, y podemos ver lo que enfoca en el axes “Previsualización”, el botón “Segmentar” captura la imagen mostrada en “Previsualización” y comienza el proceso de segmentación, también podemos usar el botón “Cargar Img” para usar una imagen previamente guardada y luego segmentarla usando el botón “Segmentar”.

La imagen segmentada se muestra en el axes “Visualización”, ahora podemos usar el botón “Área de Presión” para mostrar la imagen en pseudocolor, podemos seleccionar la cantidad de colores usados presionando los botones “<<” y ”>>”, también podemos usar los botones “IC Derecho” e “IC izquierdo” para ver las medidas e IC de cada pie, y también está el botón “Superficie” que abre una ventana con la representación en superficie del pie.

Por ultimo están los botones “Guardar Previsualización” y “Guardar Visualización” que permiten guardar la imagen que se encuentra en ese momento en los respectivos axes.

3.5 PROTOCOLO.

Al tratarse de un equipo en donde conjuga el bienestar del paciente con los parámetros necesarios para lograr la impresión plantar, es necesario la elaboración del protocolo el mismo que debe reflejar el cómo proceder paciente – equipo, para lograr los resultados esperados el mismo que es el obtener el área de mayor presión y poder valorar a los pies como los diferentes tipos de patologías, todo esto a través del análisis de las impresiones plantares. En el Anexo D. se presentan los diferentes puntos del protocolo del podómetro electrónico MV 7000.

Cabe indicar que previo al uso del equipo se debe realizar la calibración del mismo, para ello se de seguir los siguientes pasos:

1. Encender el Computador donde deberá estar instalado matlab 2013b, y hacer correr el programa.
2. Conectar la cámara en el puerto USB del computador.
3. Encender las 2 lámparas de manera que observaremos que la misma va hacer transmitida por la superficie del vidrio templado (zona de pisada.)
4. Realizar la calibración de la cámara manualmente.
5. Realizar la calibración de la cámara mediante el software.

4

Desarrollo de Pruebas de Funcionamiento.

4.1 PRUEBAS DEL HARDWARE.

Como proceso de pruebas lo que se realiza es el diagnóstico del equipo frente a las exigencias de funcionamiento, las misma que es soportar el peso de las personas que requieran el análisis plantar y que dicha prueba sea la más amigable con el paciente. A continuación se presenta la estructura de la superficie refractante, la misma que es de vidrio claro templado de 10 mm de espesor la misma que se encuentra con una serigrafía informativa:

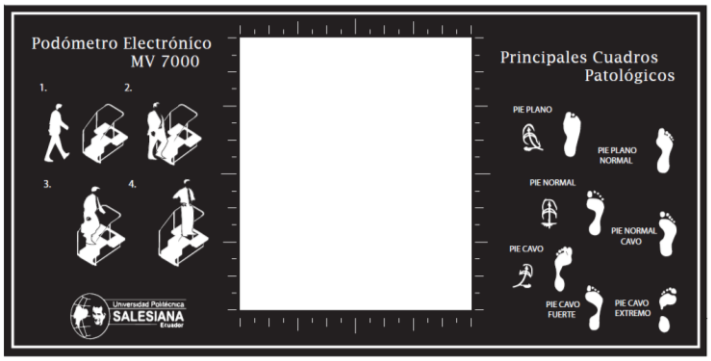


Fig. (4 : 1). Zona de Pisada. Fuente [Autores].

Procedemos a indicar el prototipo final que de acuerdo al análisis inicial propuesto cumple con las exigencias del cual obtenemos los resultados esperados, los mismos que es la imagen plantar del paciente.

Fig. (4 : 2). Podómetro Electrónico MV 7000. Fuente [Autores].

Luego de tener el equipo listo, procedemos a indicar como se prepara la escena para el proceso de captura de la imagen, la misma que a la superficie refractante se le ilumina mediante dos lámparas fluorescentes que se encuentran a los extremos y se logra la refracción total de la superficie plantar frente al vidrio.

Fig. (4 : 3). Ubicación de la Cámara y Espejo. Fuente [Autores].

Una vez que se ha realizado la colocación de todos los elementos en el equipo como son vidrio, espejo, cámara y lámparas fluorescentes procedemos a verificar el funcionamiento y la colocación inicial según corresponda para garantizar la funcionabilidad del equipo. En la figura se indica el equipo con el paciente listo a ser analizado la superficie plantar.

Fig. (4 : 4). Ubicación del paciente. Fuente [Autores].

4.2 PRUEBAS DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

Luego de tener listo el equipo procedemos a dar funcionalidad al software, sin descuidar ningún parámetro que nos permita obtener una buena imagen plantar para que la misma sea procesada en el programa.

4.2.1 CALIBRACION DE LA IMAGEN.

La interfaz gráfica que facilita la calibración de la cámara nos permite de alguna manera tener confiabilidad de resultados y confiabilidad del equipo, la misma que es mediante indicadores numéricos que facilitan la interpretación de resultados. A continuación se muestra los pasos que intervienen en esta etapa.

- Una vez preparado el hardware se conecta el computador, y se inicia el programa Presentación.m, el mismo que es extensión de Matlab 2013b, que se encuentra dentro de la carpeta PodometroMV700.

Fig. (4 : 5). Interfaz Equipo - PC. Fuente [Autores].

- Se colocan cinco elementos geométricos (círculos) sobre la zona de pisada.

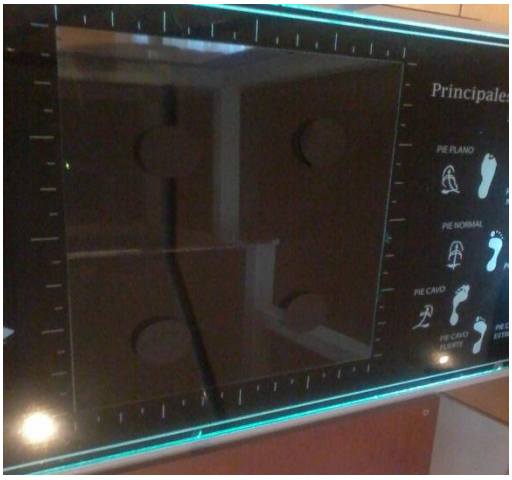


Fig. (4 : 6). Ubicación de las figuras Geométricas. Fuente [Autores].

- En la interfaz gráfica se escoge la opción continuar, y luego la opción Iniciar para poder visualizar lo que la cámara esta capturando.

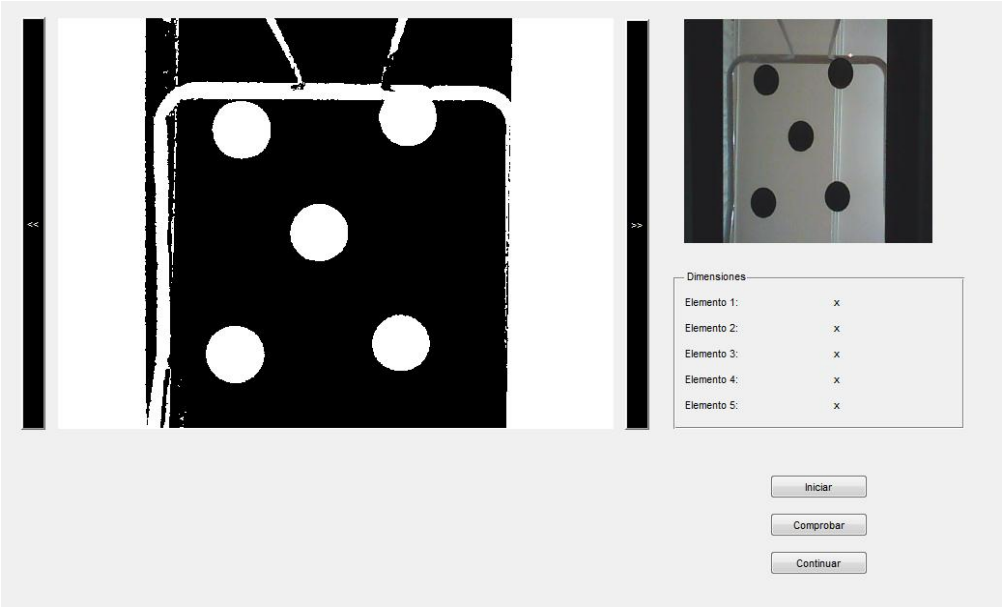


Fig. (4 : 7).Interfaz de la calibración. Fuente [Autores].

- Luego de obtener la imagen, la misma que se requiere tener solo a los círculos, se procede a jugar con el valor del umbral, este se hace realizando clic en el scroll que se encuentra a los costados de la imagen, hasta obtener una imagen en blanco y negro solo con la impresión de los círculos en blanco y por ultimo escojamos la opción de Comprobar.

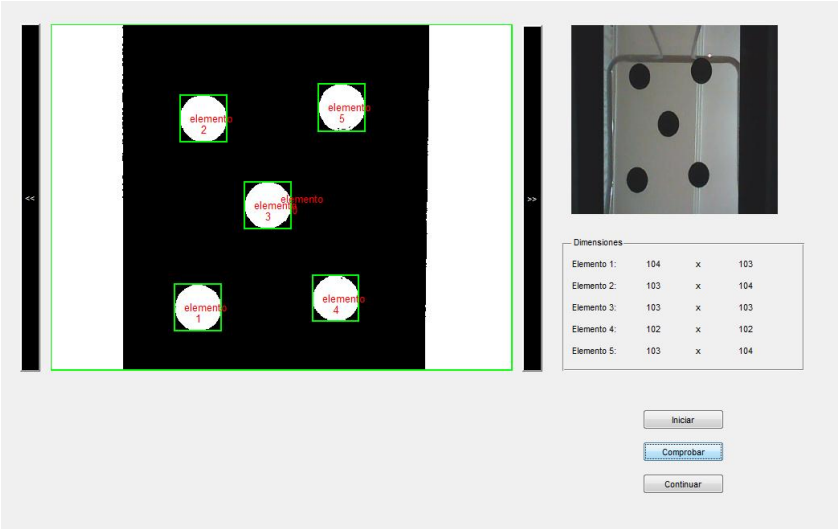


Fig. (4 : 8). Ejecución de la Interfaz de calibración. Fuente [Autores].

- Y observamos las dimensiones las cuales al ser elementos con las mismas dimensiones, cuyos resultados son en pixeles.

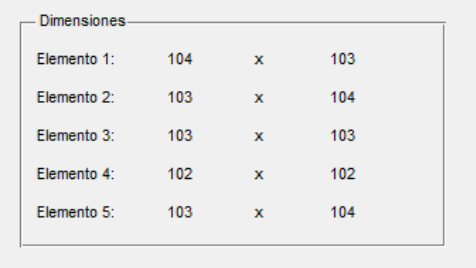


Fig. (4 : 9). Comprobación en Pixeles de la Ejecución de la Interfaz de calibración. Fuente [Autores].

- Observando las dimensiones del elemento 3, observamos que el mismo tiene medidas de 103 en X y 103 en Y, considerando a los demás elementos observamos que las medidas están entre 104 y 102, los mismos que al estar trabajando en una área de 1024 x 768, esta variación es mínima por decirlo así casi cero de error. Así garantizamos que la imagen a capturar no este sobredimensionada y de esta forma evitamos el efecto barril en la superficie plantar.

4.2.2 CAPTURA DE LA IMAGEN.

Luego de haber obtenido las dimensiones de los objetos como parte de la calibración, dentro de la misma interfaz escogemos continuar, el mismo permitirá entrar en la interfaz del Podometro.m, la cual nos brinda opciones para realizar el análisis completo de la superficie plantar, el mismo que se detalla a continuación:

- Al tener la interfaz gráfica correspondiente a la del Podometro.m, elegimos la opción de iniciar cámara de la cual obtendremos.

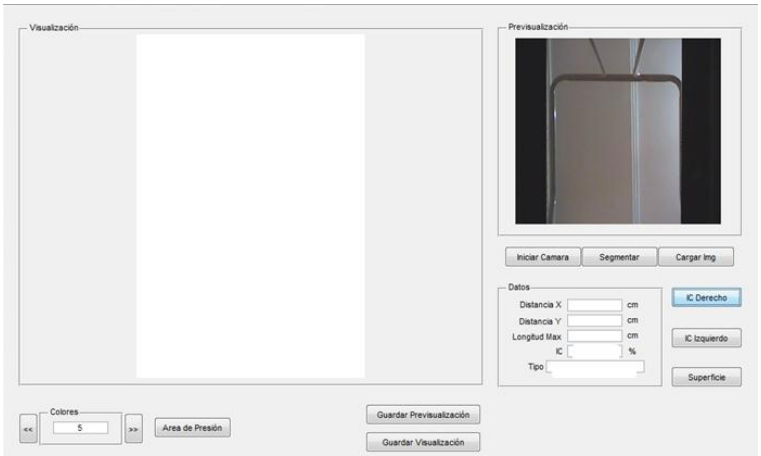


Fig. (4 : 10). Interfaz del Procesamiento. Fuente [Autores].

- Indicaremos al paciente subir al equipo de manera que ubique los pies dentro de la zona de pisada.

Fig. (4 : 11). Forma en la que el paciente se ubica en la Zona de Captura. Fuente [Autores].

- Lo que vamos a obtener es la imagen plantar del paciente el mismo que se puede observar a continuación

Fig. (4 : 12). Forma en la que se ubican los pies. Fuente [Autores].

- Ahora lo que se hace es preparar la escena de la captura de la imagen, es decir con la manta se procede a realizar el tapado de los pies para obtener lo siguiente

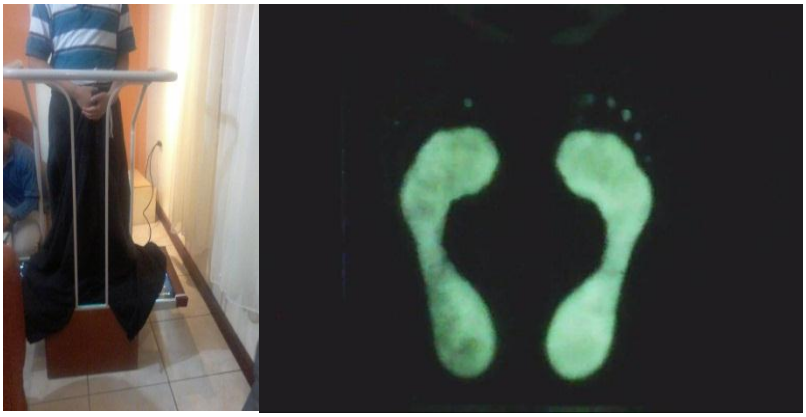


Fig. (4 : 13). Tapado de los pies e impresión plantar obtenida. Fuente [Autores].

4.2.3 PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN.

Una vez que se obtiene la imagen correcta en la posición correcta, procedemos a realizar el procesamiento de la imagen.

- Primeramente lo que se hace es realizar la segmentación de la imagen, es decir el tratamiento de la imagen que esta capturando la cámara, todo esto eligiendo Segmentar, o la otra opción puede cargar la imagen , cualquier imagen previamente capturada en la opción de Cargar Img.

Fig. (4 : 14). Forma en la que se Segmenta la Imagen. Fuente [Autores].

- Obtenemos la siguiente gráfica, la cual como método de verificar si es una imagen que nos sirva para continuar con el proceso de análisis, es observando que no exista ningún rasgo de color o mancha, es decir que solo exista la figura de la huella plantar, como se indica en la siguiente figura.

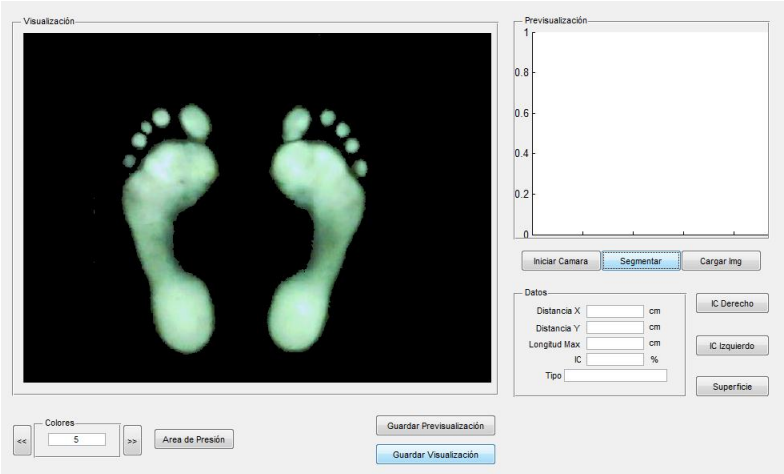


Fig. (4 : 15). Resultado de la Segmentación de la Imagen. Fuente [Autores].

- Una vez que tenemos la imagen plantar con las condiciones deseadas, procedemos a realizar el análisis de la mayor área de presión.

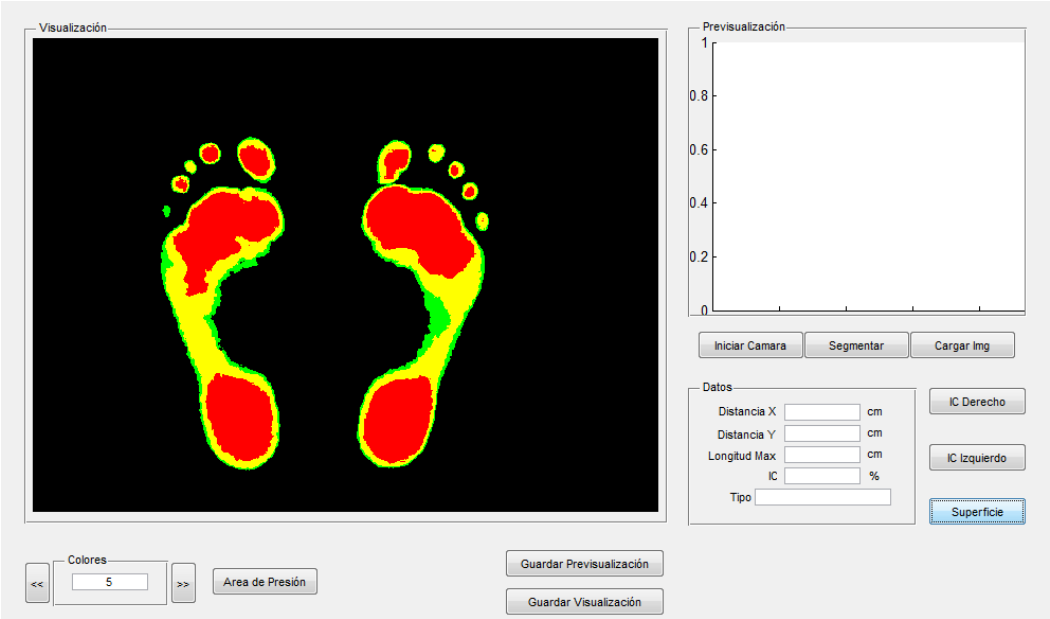


Fig. (4 : 16). Resultado del Área de Presión. Fuente [Autores].

- Luego analizamos el pie Derecho

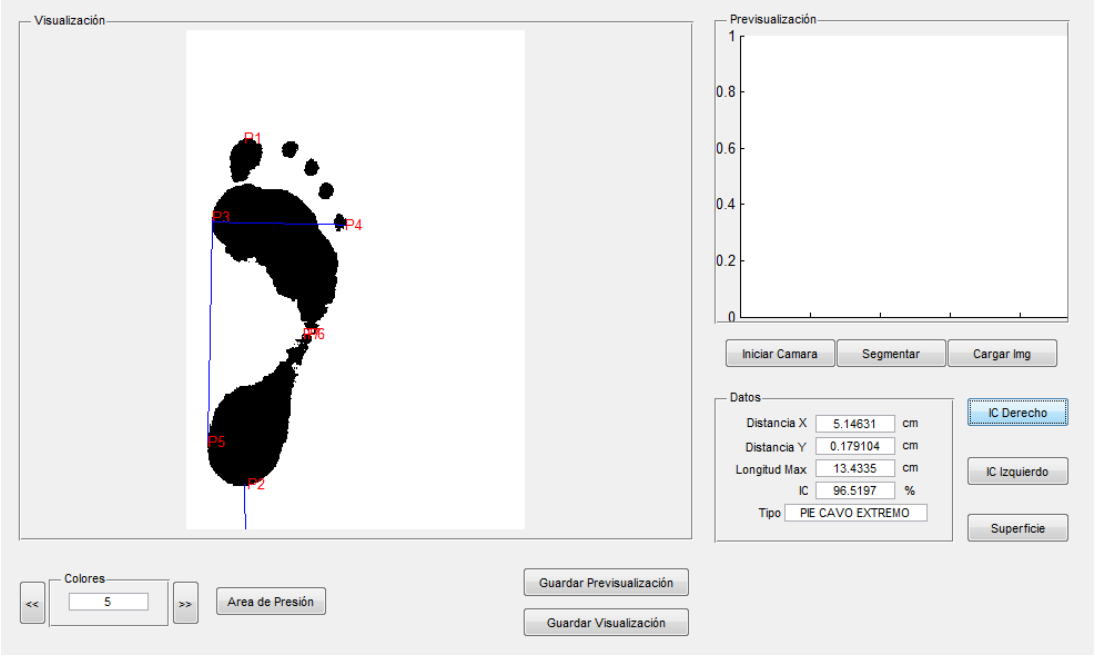


Fig. (4 : 17). Resultado del IC Derecho. Fuente [Autores].

- El pie Derecho

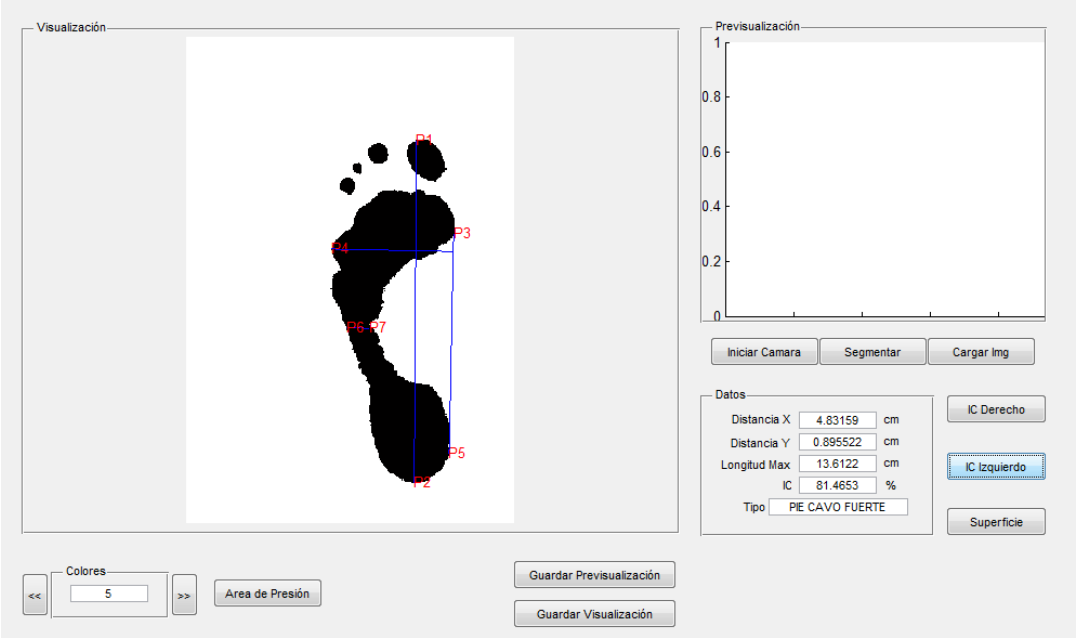


Fig. (4 : 18). Resultado del IC Izquierdo. Fuente [Autores].

- Finalmente obtenemos la opción de observar nuestra Superficie plantar en toda su dimensión.

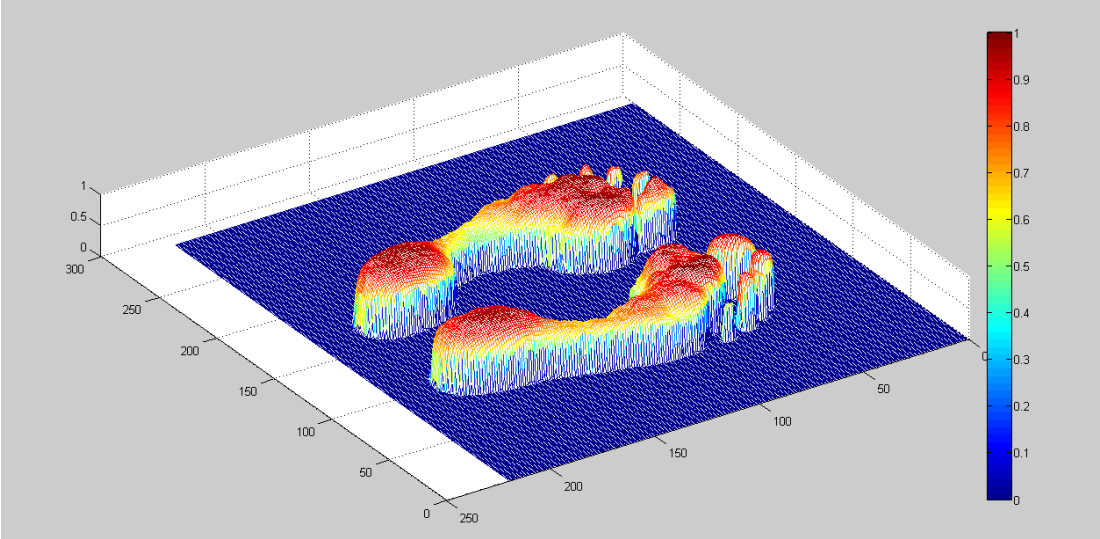


Fig. (4 : 19). Superficie plantar. Fuente [Autores].

4.2.4 REPETITIBILIDAD DE RESULTADOS.

Con el fin de dotar a nuestro equipo un indicador numérico que brinde confiabilidad de resultados, en esta etapa lo que se hace es obtener el grado de confianza que posee el sistema del podómetro electrónico MV 7000, para ello realizaremos varias pruebas en un mismo paciente, dichas pruebas serán tomadas en diferentes días para garantizar el factor de repetitividad de resultados.

Luego de haber realizado las pruebas respectivas las mismas que son tomadas en diferentes condiciones, procedemos al análisis respectivo, para lo cual en la figura 3,20, se muestra cinco muestras tomadas indistintamente.

AREAS DE PRESION

PRUEBA 1	
PRUEBA 2	
PRUEBA 3	

PRUEBA 4	
PRUEBA 5	

Fig. (4 : 20). Áreas de Presión, Tomadas en mismo Paciente. [Autores].

INDICE DE CAVIDAD

De igual manera para el respectivo análisis de los resultados del índice de cavidad, al ser estos datos numéricos, se facilita el mismo, para lo cual tomamos 20 muestras en momentos diversos y con el entorno diferente, y procedemos al observar los resultados, ya que para su visualización lo hemos designado diferentes colores como se muestra en la figura 4,21.

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

Tabla (4 : 1). Asignación de colores según tipo de pie. [Autores].

A continuación se indica dos resultados para observar como se muestra los mismos por parte del equipo.

Prueba 1.

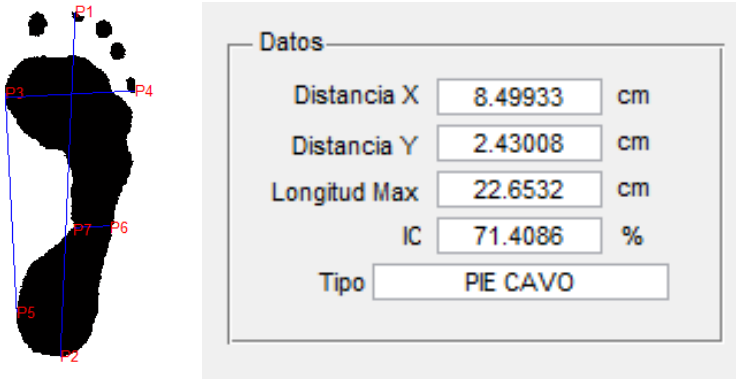


Fig. (4 : 21). Resultados del Pie Derecho. [Autores].

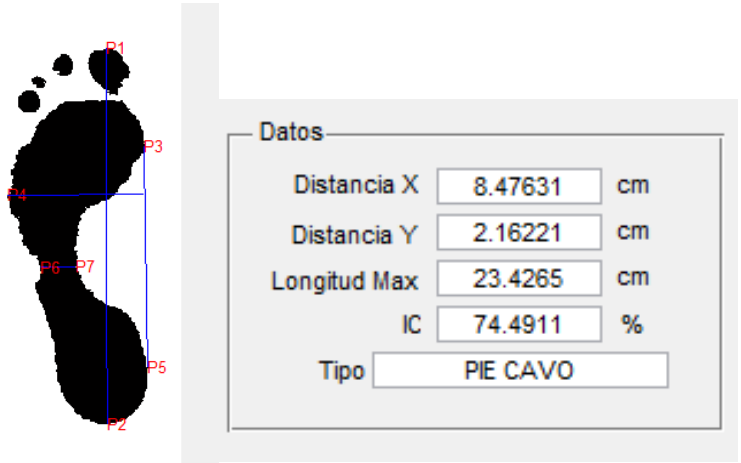


Fig. (4 : 22). Resultados del Pie Izquierdo. [Autores].

Prueba 2.

Fig. (4 : 23). Resultados del Pie Derecho. [Autores].

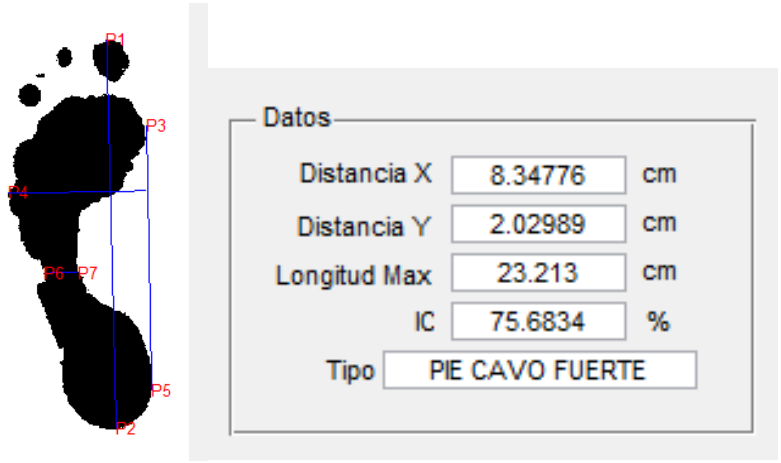


Fig. (4 : 24). Resultados del Pie Izquierdo. [Autores].

La tabla donde se muestra el resto de resultados en donde vemos diferenciado por colores ya diferenciado el tipo de pie correspondiente a cada prueba se puede observar en el Anexo A.

ANALISIS DE RESULTADOS

Para observar de mejor manera los resultados efectuados en un mismo paciente del total de las muestras que son 20, se ha realizado la gráfica correspondiente en donde vemos que como el análisis se hace por separado, tenemos que:

- En el pie derecho tenemos que 16 muestras nos muestra que es PIE CAVO. Mientras que las cuatro restantes es PIE CAVO FUERTE.
- En el pie izquierdo tenemos 14 muestras que nos muestran que es PIE CAVO, mientras que las cuatro restantes es PIE CAVO FUERTE.
- Del total de muestras el diagnostico diferente emparejado es decir para el derecho e izquierdo, tan solo en 3 ocasiones coincide que ambos pies son PIE CAVO FUERTE y 17 veces nuestro equipo nos da una validación de PIE CAVO, considerando que estas muestras son tomadas en diferentes días y en entornos diferentes basados en un único paciente.

PACIENTE 14									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
8,4993	8,4763	2,4308	2,16221	71,399998	74,4911105	22,6532	23,4265	Pie Cavo	Pie Cavo

Tabla (4 : 2). Muestra de la primera prueba realizada. [Autores].

A continuación mostramos las gráficas correspondiente al comportamiento del diagnóstico tanto en el Pie derecho e Izquierdo.

Pie Derecho

Fig. (4 : 25). Gráfica del Pie Derecho. [Autores].

Pie Izquierdo

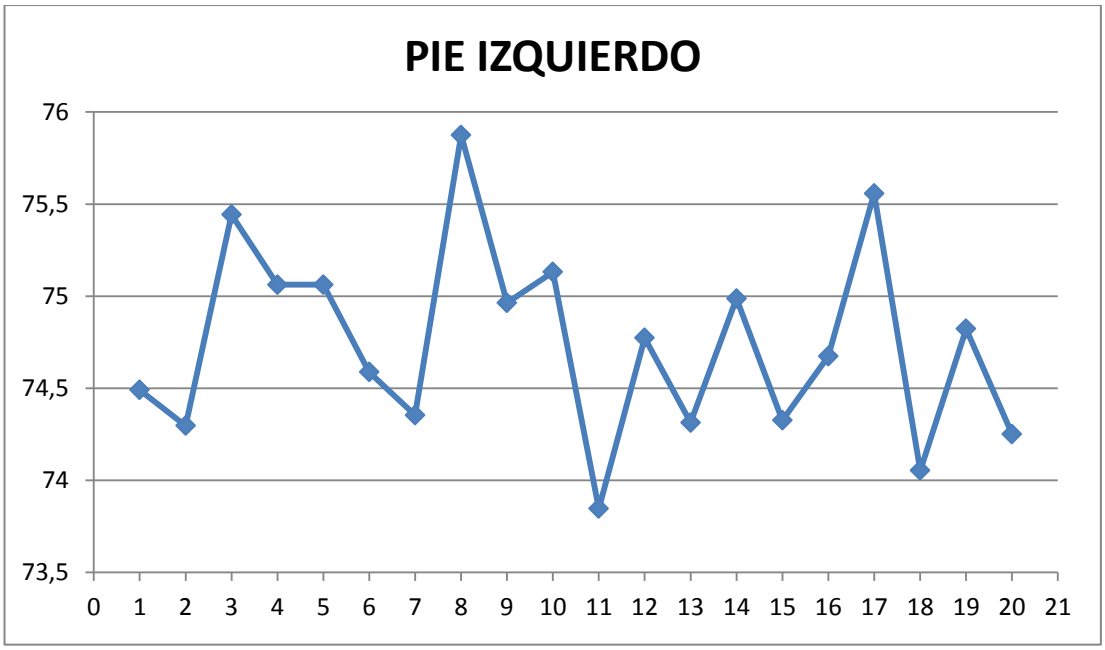


Fig. (4 : 26). Gráfica del Pie Izquierdo. [Autores].

Ahora observamos las dos graficas antes mencionadas en una sola, la misma que observamos que el pie Izquierdo es más grande que el pie Derecho, que concuerda con la teoría de H. corvo.

Grafica Conjunta

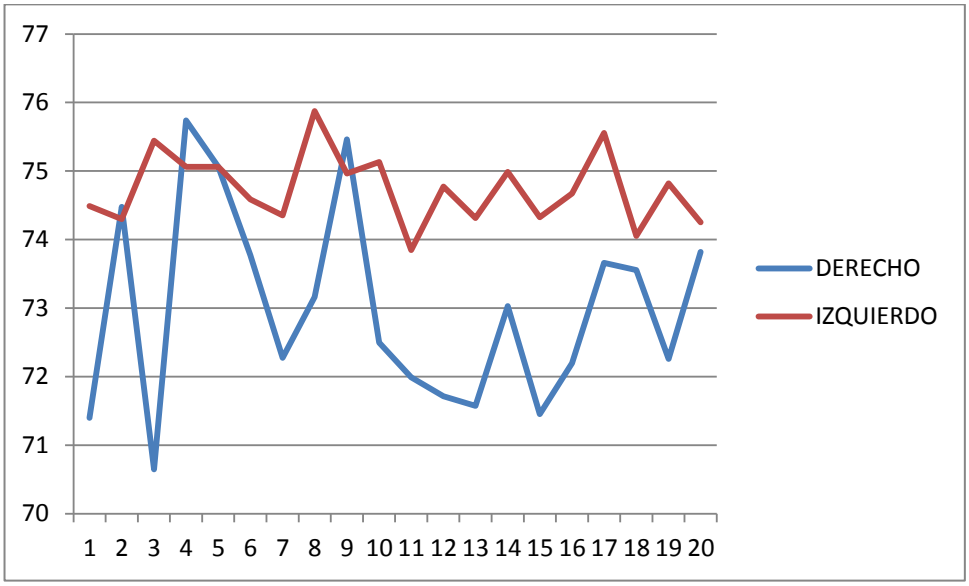


Fig. (4 : 27). Gráfica de Resultados. [Autores].

De acuerdo con los resultados mostrados, mediante las muestras y los errores presentados tenemos un 90% de confiabilidad del equipo con un 10% de error o desfase de resultados.

4.3 VALORIZACION DEL PIE CON EL ANÁLISIS IMPLEMENTADO.

Como valorización del equipo, realizamos el análisis en 15 pacientes los mismos que van a seguir el protocolo del equipo con el fin de ver y analizar los diferentes resultados arrojados por el programa y así determinar el tipo de pie, el índice de cavidad, las zonas de mayor presión y poder observar la pisada en 3d.

Para ello mostramos a continuación tres pacientes los cuales han sido determinados por los resultados mostrados, ya que todo el conjunto de muestras se puede ver en el Anexo C3. Dichos pacientes han sido seleccionados por los resultados mostrados como bajo, medio y alto es decir:

Paciente 1	Paciente 14	Paciente 13
Medidas bajas	Medidas medias	Medidas altas

Tabla. (4 : 3). Gráfica de Resultados. [Autores].

Paciente 1.

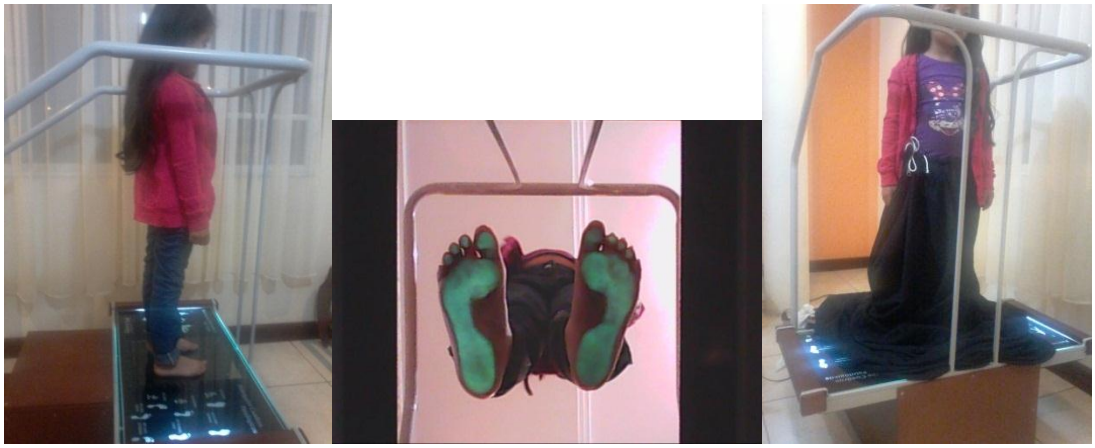


Fig. (4 : 28). Paciente 1. [Autores].

SEGMENTACION	AREA DE PRESION

Fig. (4 : 29). Muestra de resultados Paciente 1. [Autores].

Fig. (4 : 30). Muestra de resultados Pie derecho. [Autores].

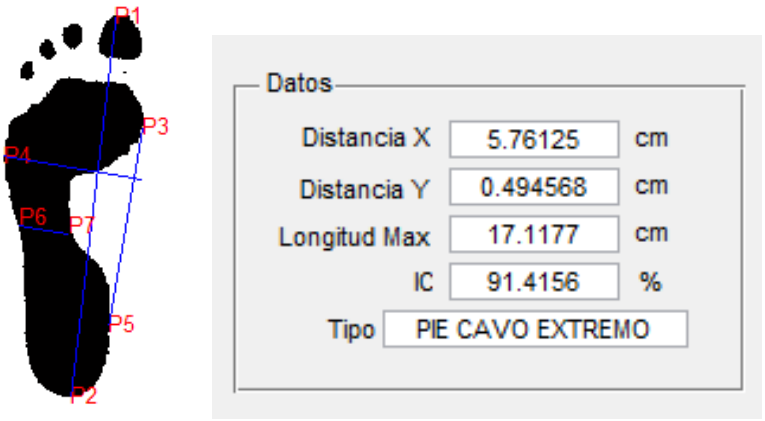


Fig. (4 : 31). Muestra de resultados Pie izquierdo. [Autores].

Paciente 14.

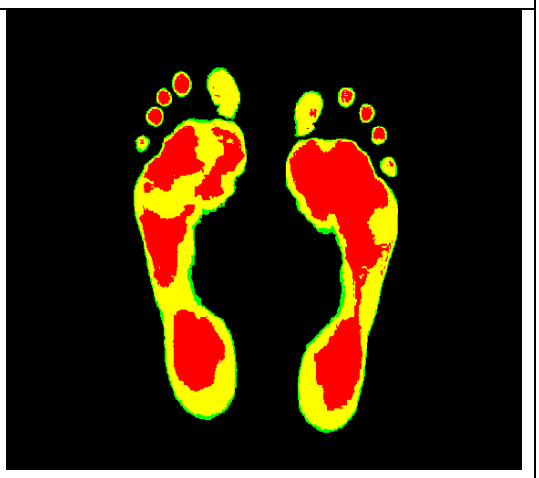
SEGMENTACION	AREA DE PRESION
	

Fig. (4 : 32). Muestra de resultados Paciente 14. [Autores].

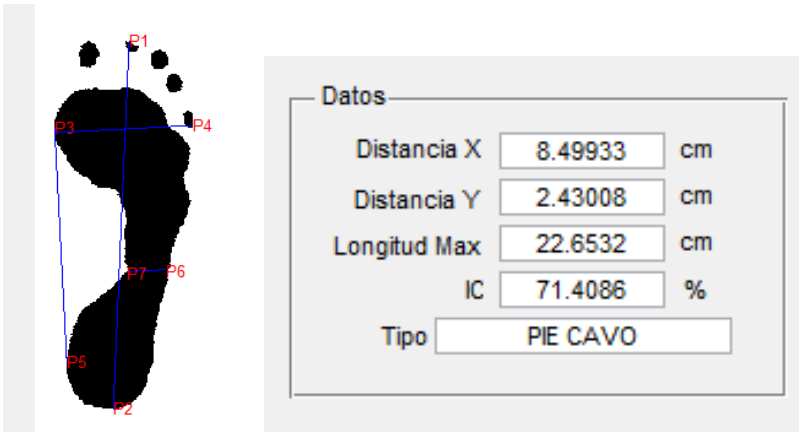


Fig. (4 : 33). Muestra de resultados Pie derecho. [Autores].

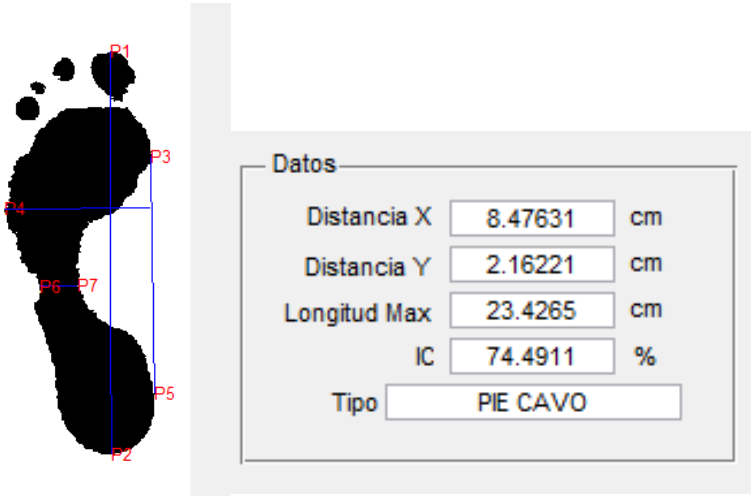


Fig. (4 : 34). Muestra de resultados Pie izquierdo. [Autores].

Paciente 13

SEGMENTACION	AREA DE PRESION

Fig. (4 : 35). Muestra de resultados Paciente 13. [Autores].

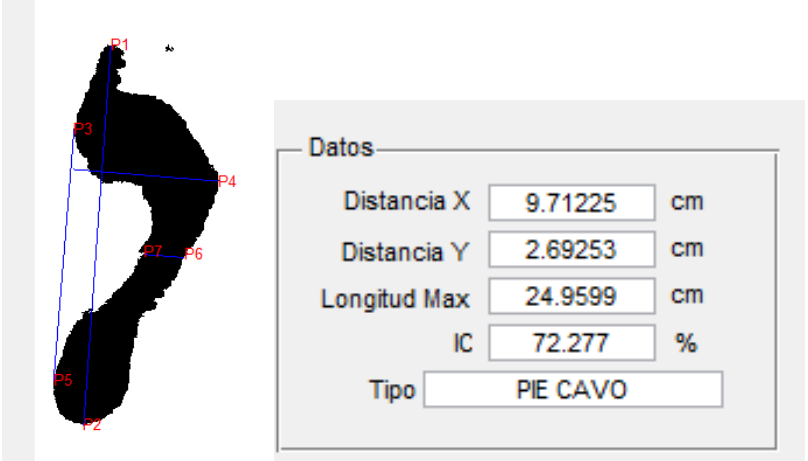


Fig. (4 : 36). Muestra de resultados Pie derecho. [Autores].

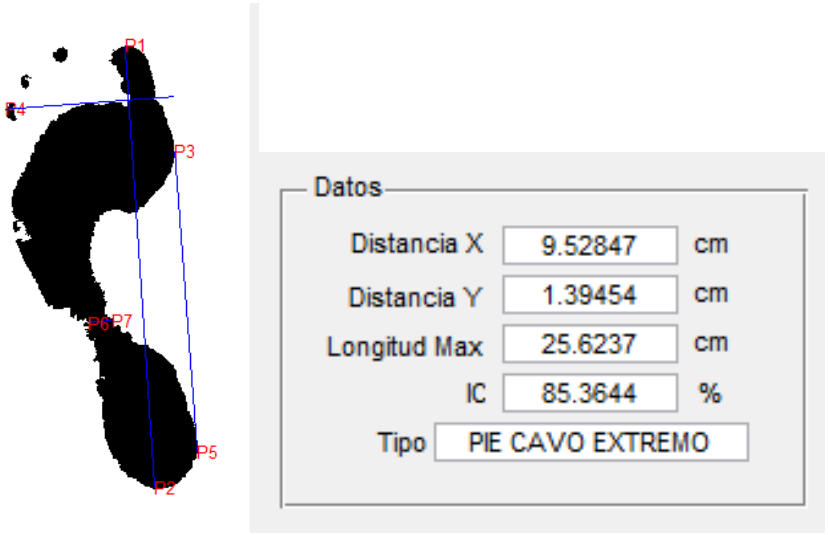


Fig. (4 : 37). Muestra de resultados Pie izquierdo. [Autores].

4.4 ANALISIS DE RESULTADOS.

Una vez obtenido lo resultados del podómetro electrónico MV 7000, procedemos a realizar el análisis de resultados en base al criterio de un profesional con el objetivo de contrastar la información, de manera que brinde más confiabilidad del equipo.

Dichas pruebas se realizó en ORTHOSA LAB. Consultorio médico especializado en Ortesis y Prótesis, ubicado en la ciudad de Cuenca.

La prueba consiste en una exploración física en estática y en dinámica, es decir se evalúa la caminata, la posición en estática con los zapatos puestos y descalzo, luego se realiza una exploración de la planta del pie, tocando las partes que pueden causar molestias al caminar y que el paciente lo indique.

La prueba se desarrolla en un tiempo de 15 min, siguiendo las siguientes pautas:

- El paciente deberá estar con los zapatos más cómodos (de preferencia los más antiguos).
- Se llena la ficha médica.
- Conversatorio con el paciente de manera saber las exigencias a las que está sometido diariamente los pies.
- El paciente caminara dentro de la sala de evaluación, con los zapatos.
- Se evalúa el zapato (2).
- Se observa al paciente caminar sin zapatos.
- Se solicita al paciente subir en la camilla en posición boca abajo.

- Se explora los pies, atento a reacciones del pie frente a las exigencias que el profesional indique.
- Se indica al paciente la importancia de los pies y el cuidado de los mismos, por último se da a conocer el problema de los pies.

Debido a que el análisis se realizó por un especialista, cuyo objetivo es dar una valoración de los pies basados en la exploración física, efectuado sobre los distintos (as) pacientes, es por ello que se debe dar a conocer la definición de algunos términos comúnmente usados en el ámbito médico, que nos permitirán entender mejor el desarrollo de las explicaciones:

- Retropie: Parte porterior del pie (talón).
- Antepie: Parte anterior del pie (empeine y dedos).

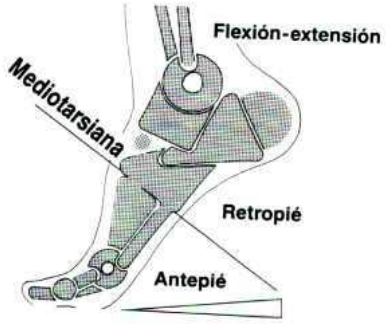


Fig. (4 : 38). Zonas del pie a ser Evaluadas . [Profesional].

- Pie Varo: pie en el que el talón mira hacia dentro y se dirige hacia dentro.
- Pie Valgo: Pie en el que el talón mira hacia fuera y se dirige hacia fuera.

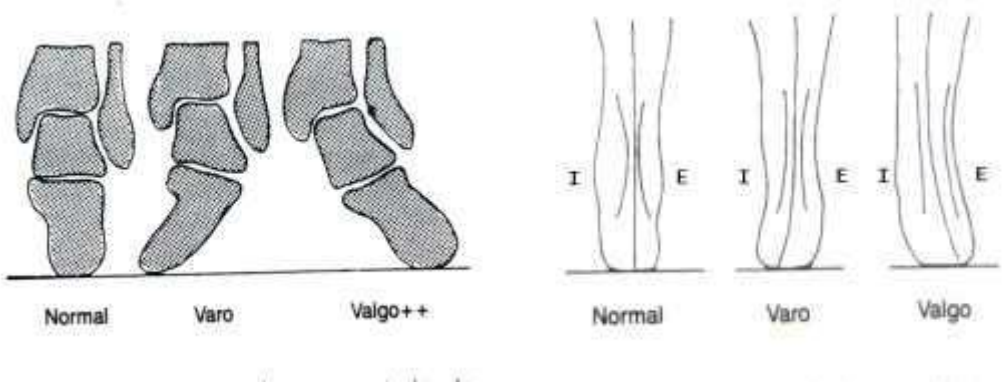


Fig. (4 : 39). Exploraciones del profesional. [Profesional].

- Pie Talo: Pie fijado en flexión dorsal del tobillo (apoya con el talón solamente).
- Pie Plano: Existe aplanamiento de la bóveda plantar.
- Pie Cavo: Existe elevación del arco plantar.
- Pie Equino: Pie fijado en flexión plantar del tobillo (apoya con el antepié solamente)
- Pie Zambo: Es todo pie que no reposa en el suelo sobre sus apoyos normales, normalmente al hablar de este tipo de pie no referimos a que es "Equino-varo-Adducto y Supinado"
- Pie Adducto: El antepié se desvía hacia dentro.
- Pie Abducto: El antepié se desvía hacia fuera.

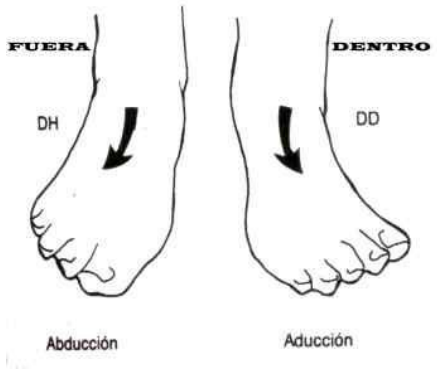


Fig. (4 : 40). Exploraciones del profesional. [Profesional].

- Pie Supinado: la planta del pie mira hacia dentro.
- Pie Pronado: La planta del pie mira hacia fuera.

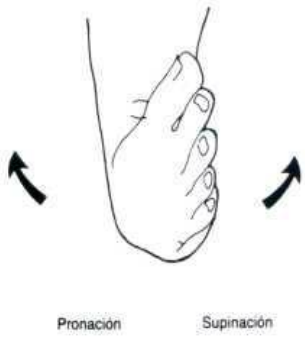


Fig. (4 : 41). Exploraciones del profesional. [Profesional].

A continuación se presenta la evaluación y la valoración final por parte del especialista, cuya ficha medica se encuentra en Anexo B

4.4.1 RESULTADOS OBTENIDOS – PROFESIONAL.

A continuación indicaremos los resultados que brinda el Podómetro Electrónico MV7000, y la valoración de los pies por parte del especialista. Cabe indicar que las Fichas médicas se encuentran en Anexo C.

NÚMERO DE PACIENTE	VALORACION PROFESIONAL	VALORACION PODOMETRO MV7000 Der - Izq	CUMPLE
1.	Pie valgo	Cavo - cavo extremo	✓
2.	Pie plano varo	Plano - normal	✓
3.	Pie varo	Cavo - Cavo	✓
4.	Pie varo	Normal cavo - Cavo	-----
5.	Pie cavo	Normal cavo - Cavo	✓
6.	Pie normal con descarga	Normal cavo -Cavo fuerte	----
7.	Pie plano valgo	Cavo - Cavo	-----
8.	Pie plano varo	Normal cavo - Normal	✓
9.	Pie normal con descarga	Normal cavo - Cavo	---
10.	Pie cavo valgo	Cavo fuerte – Cavo fuerte	✓
11.	Pie plano varo	Normal cavo- Normal cavo	✓
12.	Pie plano valgo	Cavo extremo- Cavo	✓
13.	Pie varo	Cavo-Cavo extremo	✓
14.	Pie cavo varo	Cavo - cavo	✓
15.	Pie varo	Normal cavo- Normal cavo	✓
TOTAL DE VALIDACIONES QUE COINCIDEN CON EL EQUIPO			11

Tabla. (4 : 4). Comparativo de validaciones Profesional - Equipo. [Autores].

5

Conclusiones, Recomendaciones y Bibliografía.

5.1 CONCLUSIONES.

Al finalizar la realización del presente proyecto podemos dar por hecho la efectividad del equipo presentando los resultados con un 90% de confiabilidad del equipo, tan solo presentándose un 10 % de error, por otra parte de acuerdo al análisis de corroborar nuestro diagnostico con la proporcionada por el profesional tenemos un total de 4 inconsistencias de un total de 15 representándonos una acierto del 86%, por lo tanto en los dos apartados principales que se buscaban conseguir, el primero; la obtención de una imagen en la que se puede apreciar la las zonas con más presión en las plantas de los pies, fue lo más fácil de implementar, una vez comprendido el concepto de pseudocolor fue fácil visualizar un algoritmo que logre implementar lo necesario, es decir una imagen a colores a partir de varios niveles de gris. La verdad es que en MatLab existen varias formas de aplicar pseudocolor a una imagen, desde las más sencillas que constan de no más de 10 líneas de comando, hasta algoritmos muy extensos con miras de su aplicación en campos donde es muy importante el análisis de imágenes, como las de rayos x. En nuestro caso, cuidamos que el algoritmo desarrollado para aplicar el pseudocolor mantenga las propiedades de la imagen, como el hecho de que se mantenga como una imagen RGB y no pase a ser un mapa de bits por ejemplo.

El segundo apartado; determinar el tipo de pie según su índice de cavidad, aunque teóricamente fácil, pues existen muchas consideración, como la calibración de la cámara que nos sirve para relacionar el tamaño de la imágenes con el tamaño real de los objetos.

En ambos casos, los algoritmos pueden ser mejorados e implementados de diversas formas, puesto que el análisis estático implica un criterio que se necesitó considerar al momento de evaluar los resultados, y este es el hecho, de que los arcos plantares, en especial el transversal interno, al momento de ser captado en estado bipedestal de la persona, puede no ser apreciado de la misma manera al levantarse el pie, es decir, lo que

a simple vista puede parecer un pie normal, al momento de ejercerse la presión del cuerpo sobre el pie, puede producir que veamos el pie en podometro como si fuera plano, por eso lo aquí expuesto busca ser un primer paso en un proceso de desarrollo tecnológico dentro de la universidad, con miras a la implementación de una plataforma para análisis dinámico de las huellas.

5.2 RECOMENDACIONES.

En el desarrollo del proyecto se ha podido encontrar algunos aspectos que podrían mejorarse en realizaciones futuras que tomen como referencia el presente trabajo.

Esta por ejemplo; el señalizar la plataforma con marcas que indiquen a los pacientes como deberían ubicarse, esto para que la captura de la imagen se a la óptima y no se presenten problemas al momento de procesar la imagen con el algoritmo planteado, o en su defecto, mejorar el algoritmo para que funcione bajo cualquier circunstancia.

También se podría eliminar completamente la necesidad de usar una manta para cubrir la escena, el algoritmo desarrollado se basa en la necesidad de tener un fondo obscuro, pero esto no necesariamente es el único método, un proceso que discrimine de mejor manera los colores de las plantas de los pies y el fondo de la imagen puede arreglar esto.

La implementación de una plataforma de análisis estático de la panta de los pies, bien puede servir como referencia para la realización de una plataforma de análisis dinámico, por cuanto todo el contenido es aplicable al mismo, siendo necesario añadir una etapa de captura y análisis de fotogramas para consecución de un video, en lugar de un solo frame o captura.

5.3 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS UTILIZADAS

[1] Anatomía de la Pierna Humana, *Capitulo2,* Octubre 2011, pág. 13**.** [en línea] < http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_s_f/capitulo2.pdf [consulta: 4 de Junio 2014]

[2] Morfología de manos y pies, *Descripción del pie,* Febrero 2007, pág. 11**.** [en línea] < http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448180747.pdf [consulta: 20 de Junio 2014]

[3]Patología Ortopédica, *Patología Ortopédica del Pie, Septiembre 1997, pág. 35.* [en línea] < http://escuela.med.puc.cl/publ/OrtopediaTraumatologia/Trau_Secc02/Trau_Sec02_10.html [consulta: 20 de Junio 2014]

[4] Los músculos del pie y su funcionamiento, *En los corredores ,* Marzo 2010, pág. 1**.** [en línea] < http://runfitners.com/2012/01/los-musculos-del-pie-y-su-funcionamiento-en-los-corredores/pdf [consulta: 20 de Junio 2014]

[5] Diario Metro Ecuador, *Estudian el pie Ecuatoriano,* 2 de Agosto 2013, Edicion 1781. [en línea] < http://issuu.com/metro_ecuador/docs/20130802_ec_guayaquil [consulta: 2 de Agosto 2014]

[6] Introducción al Pie Diabético, *Equipos de estudio*, septiembre 2010. [en línea] < http://www.coib.org/uploadsBO/Generica/Documents/2209%20DOS%20G.%20JURADO.PDF [consulta: 7 de Agosto 2014]

[7] Importancia de la huella plantar, Repositorio de la escuela de EEFF, Abril 2008 [en línea] < http://www.efdeportes.com/efd140/importancia-del-analisis-de-la-huella-plantar.htm [consulta: 7 de Mayo 2014] http://www.efdeportes.com/efd141/valoracion-de-un-fotopodograma.htm

[8] Patologías del pie, Análisis de la huella. Enero 2010. [en línea] < http://www.todoparacalzado.com/problemas-pies [consulta: 9 de Agosto 2014]

[9] Baropodometria electrónica, Descripcion del equipo, Enero 2007 [en línea] < http://www.bioingenieria.edu.ar/grupos/geic/biblioteca/archivos/Trabypres/T08TCPe07.pdf [consulta: 9 de Agosto 2014]

[10] DOMINGUEZ, Luis, Diseño y construcción de un podómetro, Mexico DF 2007, tipos de podómetros. Pág. 5 **.**

[11] www.emed.com

[12] Tekscan. User Manual. FlexiForce Sensors. Año 2005. South Boston. USA. 2007 [en línea] < http://www.tekscan.com [consulta: 9 de Agosto 2014]

[13] Valoración de un fotopodograma, Repositorio de la escuela de EEFF, Abril 2008 [en línea] < http://www.efdeportes.com/efd141/valoracion-de-un-fotopodograma.htm [consulta: 7 de Mayo 2014]

[14] Berdejo-del-Fresno, D.; Lara Sánchez, A.J.; Martínez-López, E.J.; Cachón Zagalaz, J. y Lara Diéguez, S. (201x). Alteraciones de la huella plantar en función de la actividad física realizada / Footprint modifications according to the physical activity practised. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol.x, Mexico 1995 **.** [en línea] < http://cdeporte.rediris.es/revista/inpress/artalteraciones340.pdf [consulta: 20 de Junio 2014]

[15] J Abián Vicén, L M Alegre Durán, A J Lara Sánchez, L Jiménez Linares y X Aguado Jódar., *Fuerzas de Reaccion del Suelo en Pies cavos y Planos*, 5 Enero 1987, pag 5. **.** [en línea] <http://www.uclm.es/profesorado/xaguado/INVESTIGACI%C3%93N/Curriculum%20laboratorio/articulos%20pdf/AbianJ_Fuerzas%20de%20reacci%C3%B3n%20del%20suelo%20en%20pies%20planos%20y%20cavos.pdf [consulta: 20 de Junio 2014]

[16] Vidrio templado. [en línea] < http://es.wikipedia.org/wiki/vidrio_templado [consulta: 17 de Agosto 2014]

[17]Incremento de la resistencia mecánica contra la tracción. . [en línea] < http://www.astiglass.com/v_templados.dhp [consulta: 17 de Agosto 2014]

[18] Iniciacion al multiframe, Analisis estructural [en línea] < http://www.maxsurf.com.ar/htms/analisis/multiframe.htm [consulta: 17 de Agosto 2014]

[19] C. Diaz, A Torres, J ramirez, L Garcia, N. Alvarez, *Descripcion de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento de Imágenes*. Revista EIA Numero 6, Escuela de ingeniería Antioquia, Medellin Colombia, Diciembre 2006, pag 7 [en línea] < http://revista.eia.edu.co/articulos6/Articulo4.pdf [consulta: 17 de Agosto 2014]

[20] “P. Ch. mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística”, Mtra. María Teresa Escobedo Portillo, PhD Jorge A. Salas Plata Mendoza, CULCyT Julio 2008, pag 16

[21] Pablo Roncagliolo, Ejemplo practico de función de segmentación de color utilizando la distancia de Mahalanobis.. [en línea] < htttp*://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/PDI14_**EjemploMahalanobis**.pdf* [consulta: 17 de Agosto 2014]

[22]Tcheslavski Gleb, Color image processing, Pseudocolor processing, Abril 2008, .. [en línea] < http://ee.lamar.edu/gleb/dip/index.htm [consulta: 17 de Agosto 2014]

[23]Espectro RGB. http://es.wikipedia.org/wiki/RGB

ANALISIS DE RESULTADOS "PODOMETRO ELECTRONICO MV7000"										
N. Medida	X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
1	8,4993	8,4763	2,4308	2,16221	71,399998	74,4911105	22,6532	23,4265	Pie Cavo	Pie Cavo
2	8,47631	8,3477	2,1634	2,0298	74,4771015	75,6843202	23,4265	23,213	Pie Cavo	Pie Cavo Fuerte
3	8,3965	8,3798	2,4645	2,0579	70,6484845	75,4421347	22,7635	23,3768	Pie Cavo	Pie Cavo Fuerte
4	8,8873	8,5237	2,1563	2,1256	75,737288	75,0624729	22,5278	23,2867	Pie Cavo Fuerte	Pie Cavo Fuerte
5	8,4134	8,3976	2,1987	2,2645	73,8666889	73,0339621	23,5098	23,2245	Pie Cavo	Pie Cavo
6	8,5376	8,3967	2,239	2,1534	73,7748313	74,3542106	22,8769	23,3245	Pie Cavo	Pie Cavo
7	8,48564	8,4654	2,3525	2,0423	72,2766933	75,8747372	23,2456	23,4078	Pie Cavo Fuerte	Pie Cavo Fuerte
8	8,4756	8,3659	2,2745	2,0945	73,1641418	74,9638413	22,7145	23,2567	Pie Cavo	Pie Cavo
9	8,2965	8,4756	2,0356	2,1078	75,4643524	75,1309642	23,6578	23,3458	Pie Cavo Fuerte	Pie Cavo Fuerte
10	8,4932	8,3698	2,3434	2,189	72,408515	73,8464479	23,2345	23,2589	Pie Cavo	Pie Cavo
11	8,4885	8,4178	2,3774	2,1235	71,992696	74,7736938	23,3867	23,3678	Pie Cavo	Pie Cavo
12	8,5166	8,4236	2,4089	2,1637	71,7152385	74,3138326	23,4098	23,3978	Pie Cavo	Pie Cavo
13	8,4978	8,4893	2,4156	2,1234	71,5738191	74,987337	22,6078	23,2957	Pie Cavo	Pie Cavo
14	8,4823	8,3987	2,2878	2,1563	73,0285418	74,3257885	22,7568	23,3876	Pie Cavo	Pie Cavo
15	8,5098	8,4367	2,4293	2,1367	71,4529131	74,6737468	23,4993	23,2478	Pie Cavo	Pie Cavo
16	8,4765	8,3245	2,3568	2,0347	72,1960715	75,5576912	22,8979	23,2987	Pie Cavo Fuerte	Pie Cavo Fuerte
17	8,4879	8,3565	2,2357	2,1589	73,6601515	74,1650212	22,879	23,3589	Pie Cavo	Pie Cavo
18	8,5234	8,3456	2,2539	2,1654	73,5563273	74,0533934	22,789	23,3245	Pie Cavo	Pie Cavo
19	8,4678	8,3675	2,3489	2,1059	72,2607997	74,8323872	23,3456	23,3078	Pie Cavo	Pie Cavo

20	8,4598	8,4587	2,2147	2,178	73,8208941	74,2513625	23,2456	23,2987	Pie Cavo	Pie Cavo

Paciente 1. Evelyn Pesantez Rodríguez.

Edad: 5 años. Peso: 14.51 Kg. Ocupación: Estudiante. Estatura: 1.15

Debido a la contextura delgada, que presenta la paciente es importante analizar los movimientos de la marcha, presentando problemas de alineación en sus rodillas con respecto al pie, ya que la misma tiende a chocar llevando a desarrollar a los pies que pisen hacia fuera es decir ambos pies alineados hacia el centro, produciendo desgaste del zapato en la zona externa, zona del primer metatarsiano.

Dx: Presenta un talón alineado en la parte interna. Talón izquierdo desalineado que desencadena en PIE VALGO.

Prueba en el Podómetro MV 7000.

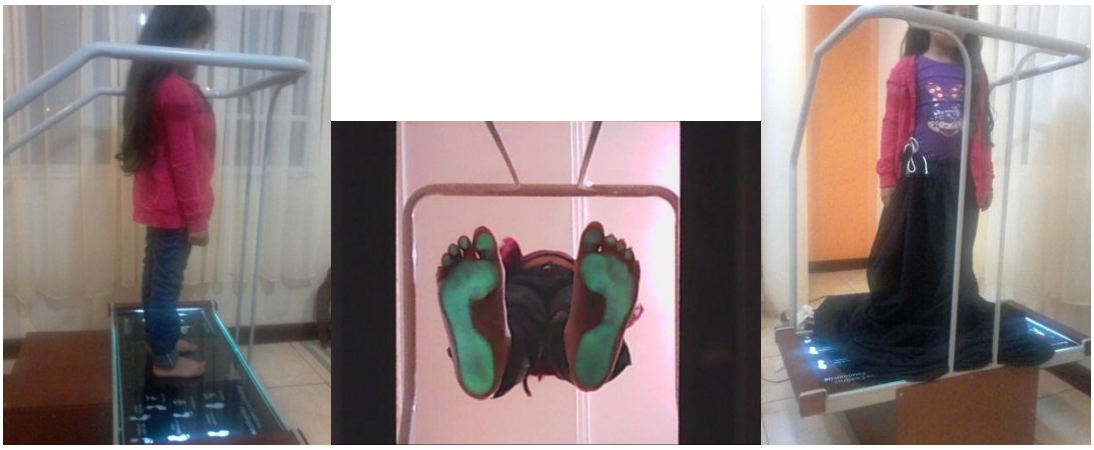


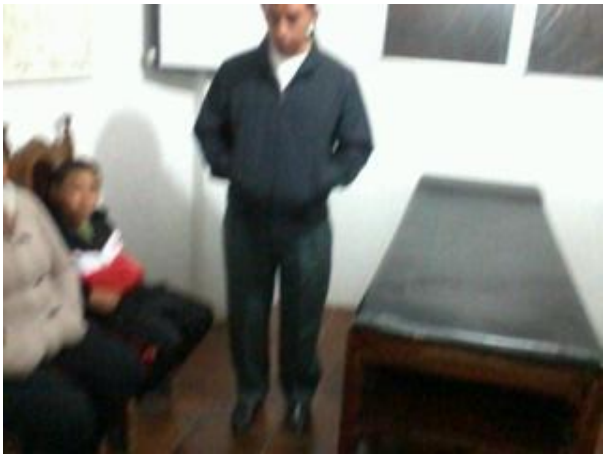
Ilustración 1

PACIENTE 1									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
5,6493	5,7612	2,0616	0,4945	63,5069832	91,4167187	16,8808	17,1177	Pie Cavo	Pie Cavo Extremo

2. Eloy Pesantez

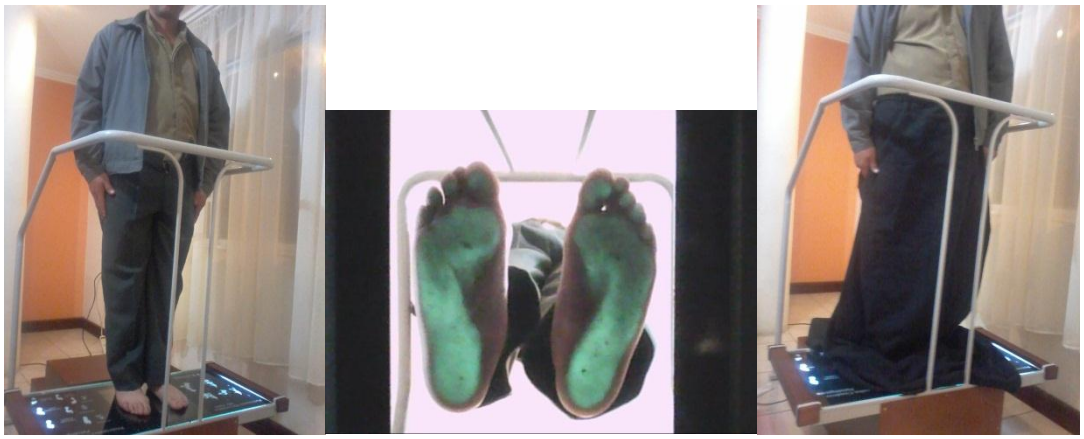
Edad: 38 años Peso: 68.30 Kg Ocupación: Comerciante. Estatura: 1.80

El paciente de acuerdo a la forma de la caminata, se nota que asienta el pie de manera que su peso es soportado por toda la superficie plantar, es decir un posible pie plano, ya que el paciente pasa la mayoría de tiempo manejando de manera que siempre está con dolor de los pies, y que utiliza zapato casual la mayoría de tiempo, tiene un dolor en la zona del talón, a tal punto que las veces que pasa de pie, tiene que esforzar el cuerpo hacia delante para forzar al pie que descanse y asi soporte el peso del cuerpo toda la superficie plantar.



Dx. Existe ausencia del arco plantar, lo cual tiende a un tipo de pie plano adquirido con un problema varo. Dx: Pie plano-varo

Prueba en el Podómetro MV 7000.



PACIENTE 2									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
8,1765	8,6763	5,3308	5,16221	34,8034	40,5021726	25,8765	26,1356	Pie Plano	Pie Normal

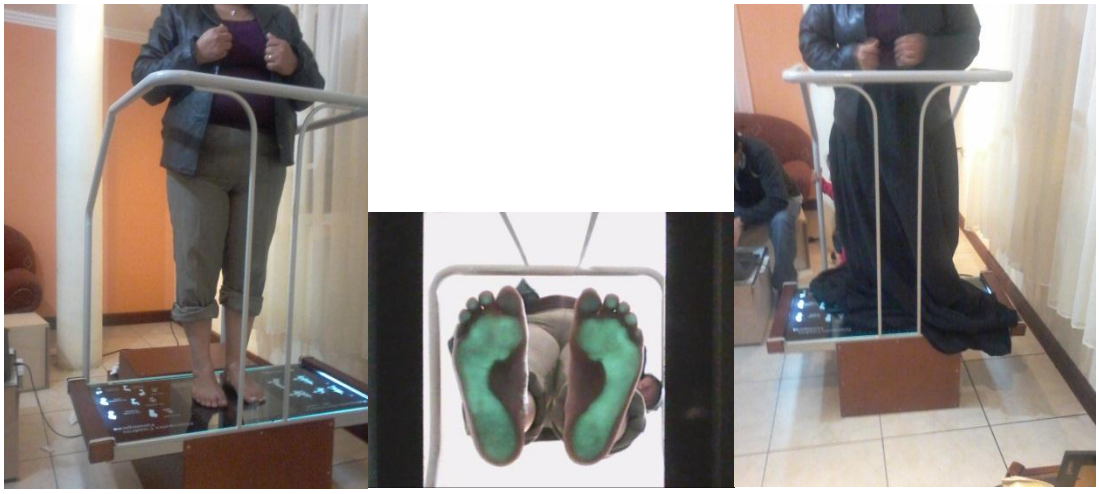
3. María Rodríguez

Edad: 28 años Peso: 63 Kg. Ocupación: Ama de Casa. Estatura: 1.50

La paciente presenta una marcha normal, notando claramente un desfase en la superficie de la planta derecha, la misma que presenta dolor plantar más en la derecha que en la izquierda, sin embargo presenta las piernas un cruce en x es decir que para juntar los pies existe un inconveniente en las rodillas que impiden la unión de los pies presentándose una arco en sus rodillas con los pies.

Al gozar de un buen arco plantar alineación correcta, para lo cual es un pie varo. Dx. Pie varo.

Prueba en el Podómetro MV 7000.



PACIENTE 3									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
7,87993	7,5763	3,3308	2,81221	57,730589	62,8814857	19,4523	20,1765	Pie Normal cavo	Pie Cavo

5. Pilar Murillo

Edad: 42 años Peso: 60 Kg Ocupación: Comerciante. Estatura: 1.55

La paciente presenta problemas en sus pies, dolor excesivo en las superficies plantares, ya que de acuerdo a las actividades realizadas nos indica que por su trabajo, le exige que este de pie el mayor tiempo posible, lo que presenta es una desalineación de las piernas llevando a esforzar al pie durante la marcha, por lo que el tobillo presenta inflamaciones, con respecto a la superficie plantar por mas que se encuentra con zapatos cómodos persiste el dolor es por lo que la fascia plantar se encuentra inflamada debido a una mala circulación y el peso soportado por los pies.

Se evidencia falta parcial del arco anterior y la presencia de un arco prominente, aumentado de una inflamación de la fascia plantar. Dx: Pie cavo.

Prueba en el Podómetro MV 7000.

PACIENTE 5									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
7,5652	7,8679	3,1583	2,7667	58,2522604	64,8355978	21,5578	22,3278	Pie Normal cavo	Pie Cavo

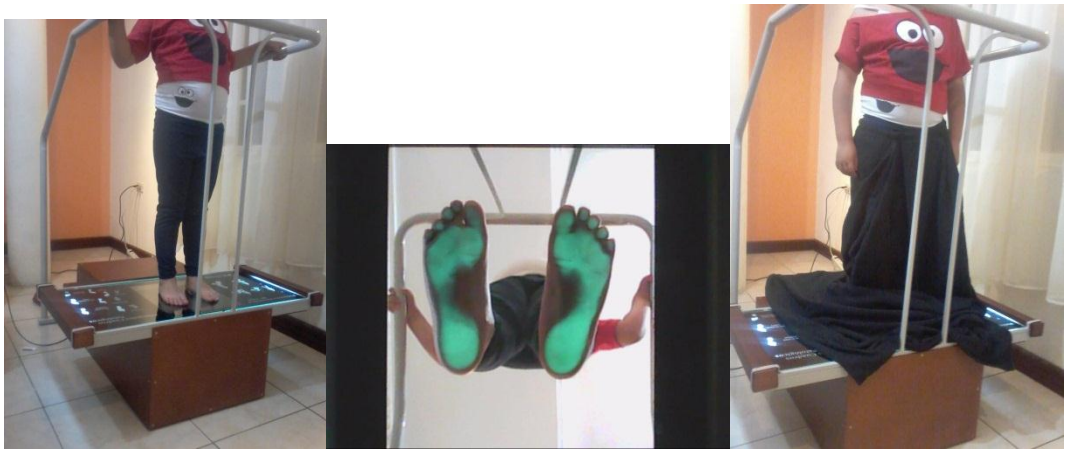
6. Ashley Cedillo

Edad: 8 años Peso: 16.35 Kg Ocupación: Estudiante. Estatura: 1.20

La paciente presenta una marcha normal con un problema de desalineación de las piernas, pero la pisada es normal presentándose un descarga excesiva en la superficie plantar debido al peso soportado.

Al presentar una marcha normal y una alineación neutra, por ende existe una caída del arco por descarga del peso. Dx: Pie normal con descarga fisiológica.

Prueba en el Podómetro MV 7000.



PACIENTE 6									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
5,7823	5,99063	2,5476	1,4861	55,941407	75,1929263	18,1254	18,3126	Pie Normal Cavo	Pie Cavo Fuerte

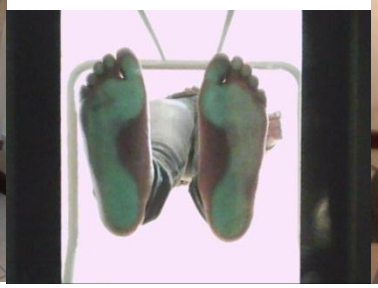
7. Dayanna Carreño:

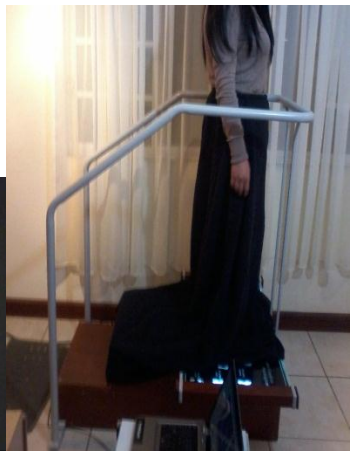
Edad: 15 años Peso: 45 Kg Ocupación: Estudiante. Estatura: 1.55

La paciente presenta deformación en el pie es decir presenta rasgos de juanete debido a las prominencias hacia el exterior de la zona del primer metatarsiano localizados en ambos pies, tiene pie delgado con un buen arco, con una observación que debido a la edad si no se corrige este problema puede volverse severo.

Existe caída del arco plantar y trastorno en sus dedos presentándose como en garra. Dx: Pie plano-valgo

Paciente 7.





PACIENTE 7									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
5,8652	5,9258	2,2679	2,1975	61,3329469	62,9163995	21,8665	22,1295	Pie Cavo	Pie Cavo

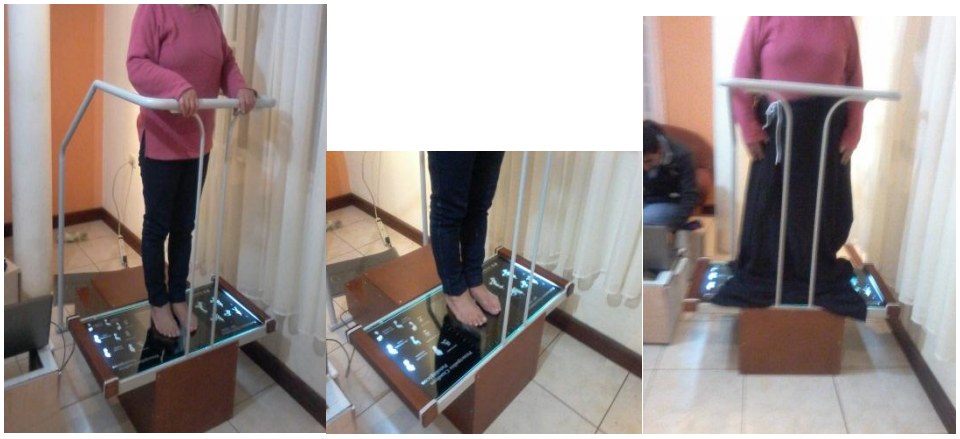
8. Carmen Abad

Edad: 58 años Peso: 62.7 Kg Ocupación: Ama de Casa. Estatura: 1.50

Presenta una desalineación de las piernas, presentándose los pies hacia fuera o lo mismo que el peso esta hacia la parte exterior de la superficie plantar. presenta un buen arco plantar con inflamación en los tobillos posiblemente por el exceso de peso que soportan los pies y la desalineación de las piernas.

Al existir una desalineación de las piernas más una elongación del ligamento, más la existencia de juanete (prominencia del primer metatarsiano). Dx. Pie Plano varo.

Prueba en el Podómetro MV 7000.



PACIENTE 8									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
7,8687	7,5763	3,3808	3,4706	57,034834	54,1913599	19,7634	20,2456	Pie Normal Cavo	Pie Normal

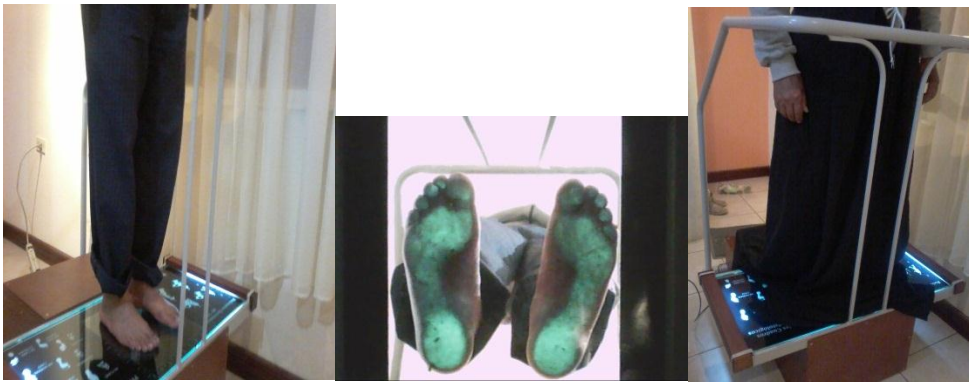
9. Ángel Carreño

Edad: 58 años Peso: 77.27 Kg Ocupación: Comerciante. Estatura: 1.70

El paciente presenta dolor excesivo en la superficie plantar focalizándose el problema en la parte posterior del talón, posiblemente producido por la existencia de espoleon calcáneo en uno de sus pies el derecho, producido por desgaste físico y por actividades forzadas de pie durante años anteriores, pie normal , presenta alineación buena.

Presenta una arco longitudinal bueno, talón alineado pese a existir dolor severo en el talón. Dx. Pie normal con descarga fisiológica.

Prueba en el Podómetro MV 7000.



PACIENTE 9									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
8,8974	8,9767	3,8354	3,0224	56,893025	66,3306115	24,1532	24,5328	Pie Normal Cavo	Pie Cavo

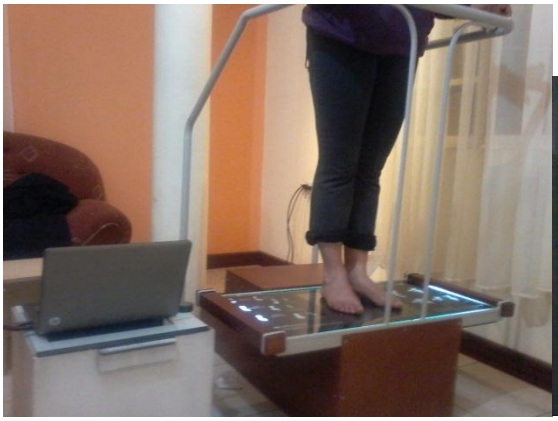
10. Eulalia Farfán.

Edad: 36 años Peso: 65 Kg Ocupación: Comerciante. Estatura 1.65

La paciente presenta pies normales, alineación de las piernas normales, con dolor en la superficie plantar posiblemente por el uso inadecuado del calzado por las actividades que realiza, arco normal.

Existe una desaparición del arco longitudinal. Dx: Pie cavo-valgo.

Prueba en el Podómetro MV 7000.



PACIENTE 10									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
8,6993	8,5769	2,1723	2,0391	75,029025	76,2256759	23,4523	23,7643	Pie Cavo fuerte	Pie Cavo fuerte

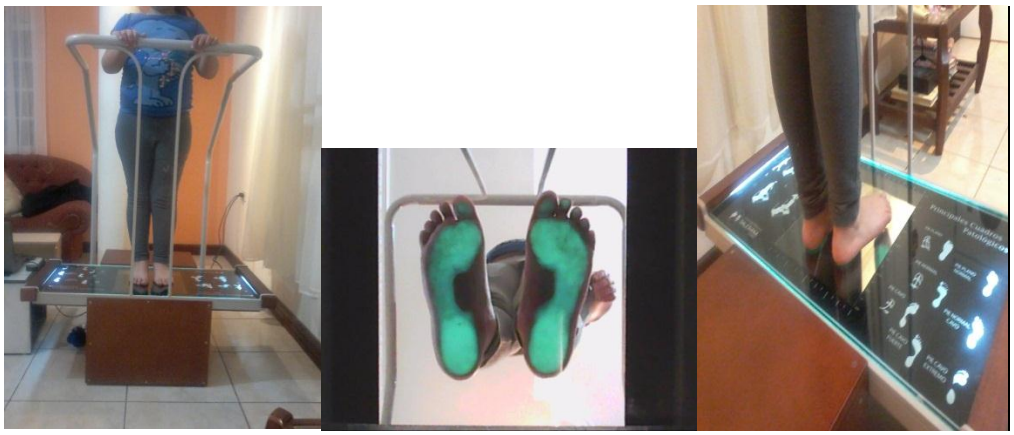
11. Andrea Murillo.

Edad: 8 años Peso: 18 Kg Ocupación: Estudiante. 1.25

La paciente presenta una marcha normal con una pisada hacia fuera de manera que se evidencia el desgaste de los zapatos, presenta un arco longitudinal bueno, el mismo que por el peso excesivo que soportan los pies la superficie plantar se va a agrandar.

Al presentar un pie bilateral en supinación, pero que son compensados con la presencia de un buen arco. Dx: Pie plano varo fisiológico.

Prueba en el Podómetro MV 7000.



PACIENTE 11									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
5,6897	5,7934	2,4156	2,4531	57,5443345	57,656989	18,1254	18,3126	Pie Normal Cavo	Pie Normal Cavo

12. Juan Diego Murillo.

Edad: 10 años Peso: 24 Kg Ocupación: Estudiante 1.45

El paciente presenta un problema severo en la estructura de los dedos, ya que los mismos se encuentran en forma de garra, debido a una mal formación contraída por el pasar de los años, presenta una marcha normal, alineación de las piernas normal, con una caída del arco plantar.

Presenta trastorno severo en los dedos, presenta dedos en garra. Dx: Pie plano-valgo

Prueba en el Podómetro MV 7000.

PACIENTE 12									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
7,5652	7,8679	0,7483	0,6723	90,1086554	91,4551532	20,3227	21,3245	Pie Cavo Extremo	Pie Cavo Extremo

13. Pablo Cabrera.

Edad: 24 años Peso: 68 Kg Ocupación: Estudiante 1.80

Presenta una buena marcha, su pisada es correcta, se encuentran alineados los pies con un buen arco y que debido a la contextura, la pisada va a tender mayor superficie por el peso que soporta.

El pie se presenta con una desalineación del talón, con unos arcos longitudinales buenos. Dx: Pie varo.

Prueba en el Podómetro MV 7000.

PACIENTE 13									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
9,7122	9,5284	2,6925	1,3945	72,277136	85,3648042	24,9599	25,6237	Pie Cavo	Pie Cavo Extremo

14. Jenny Cedillo.

Edad: 24 años Peso: 57 Kg Ocupación: Estudiante 1.65

Presenta una desalineación de las piernas impidiendo rozar los talones, presenta una buena marcha indicando que los pies son mas prominentes en la zona metatarsiana (dedos) provocando una mayor zona de pisada y por ende desgaste articular constante debido al peso excesivo que soportan los mismos.

Presenta trastorno en los dedos, un retracción es decir dedos en garra, además presenta un desalineación de las rodillas (en x), además de una excesiva área de arco longitudinal. Dx: Pie cavo varo

Prueba en el Podómetro MV 7000.

PACIENTE 14									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
8,4993	8,4763	2,4308	2,16221	71,399998	74,4911105	22,6532	23,4265	Pie Cavo	Pie Cavo

15. Juan Carreño.

Edad: 26 años Peso: 62 Kg Ocupación: Estudiante 1.70

Presenta una alineación de las piernas buena, presentándose un problema en el pie izquierdo con una inclinación pisada hacia dentro haciéndose notorio en el desgaste del calzado, provocando dolor articular en dicho pie, en si la superficie plantar es buena con un buen arco.

Existe caída del arco plantar en el pie izquierdo lo que deriva a que este sea un pie supinador, en cambio el pie derecho tiene una buena alineación del talón. Dx: Pie valgo.

Prueba en el Podómetro MV 7000.

PACIENTE 15									
X cm		Y cm		IC %		MAX cm		TIPO DE PIE	
DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
7,2275	7,3785	2,4529	2,56221	66,06157	65,2746493	23,9687	24,2355	Pie Cavo	Pie Cavo

PROYECTO: “SISTEMA DE ANALISIS DE LAS PRESIONES PLANTARES EN ESTATICA BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES”

PROTOCOLO REGISTRO MEDICIONES BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

Elaborado por:

- Juan Carreño - Pablo Cabrera. Asistentes de Proyectos.
- Ing. Fernando Urgiles. Director del Proyecto.

(Información Confidencial para el proyecto de Investigación.)

CONTENIDO:

I. **DATOS PRELIMINARES**
II. **PROPOSITO Y ALCANCE.**
III. **MATERIALES.**
IV. **PROCEDMIENTO**
V. **CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA MEDICIÓN DE LA SUPERFICIE PLANTAR MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.**
VI. **PROTOCOLO DE REGISTRO DE IMÁGENES DE LA SUPERFICIE PLANTAR.**

I. DATOS PRELIMINARES.

Objetivo:

Realizar el registro de imágenes de las superficies plantares, para el procesamiento de las mismas, dichas imágenes son capturadas en el equipo de forma estática.

II. PROPOSITO Y ALCANCE.

El propósito de la toma de datos estará basado en la obtención de las imágenes plantares, para el análisis de las áreas de mayor presión y del índice de cavidad las mismas que son capturadas por el equipo cuando el paciente se encuentra en posición bípeda.

El alcance de este protocolo es obtener imágenes de la superficie plantar, para realizar un sistema de medición automática mediante procesamiento de imágenes basados en algoritmos matemáticos que permiten realizar el análisis de las áreas de mayor presión y el índice de cavidad.

III. MATERIALES.

Cámara WEB.	Resolución 1280x720 pixeles
Guía para el Registro	Juego de figuras de calibración. Manta cubre pies.
Consentimiento informados	Informes. Esferos.
Materiales para realizar el registro	Computador. Software Matlab 2013b.
Dispositivo para la ubicación del sujeto de estudio.	Podómetro electrónico MV7000.
Elementos de Asepsia.	Toalla Alcohol Guantes

IV. PROCEDIMIENTO.

Se selecciona a los pacientes, e indicarles cómo funciona el equipo, enfatizando que esta práctica es totalmente inofensivo para la salud y que el proceso de captura de la impresión plantar es amigable con el paciente.

Cabe indicar que se requiere llenar el consentimiento informado por parte de los pacientes, además es necesaria la asepsia del evaluador tanto en manos, como las zonas de contacto del pie, como son el peldaño, la zona previa de pisada y lo más importante la zona refractaria (vidrio).

Comprobar que las lámparas se encuentren encendidas al momento de la captura. Y que el proceso es totalmente repetible si la captura no satisface las necesidades del evaluador.

El evaluador deberá tener la certeza de que los pies del paciente estén ubicados dentro de la zona refractaria, esto se logra mediante la pre visualización de la imagen, que corresponde a la captura de la cámara en tiempo real.

V. CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ANALISIS DE LAS PRESIONES PLANTARES Y LA OBTENCION DEL INDICE DE CAVIDAD MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.

Dentro de las normas éticas exigidas al profesional en la República del Ecuador, dice lo siguiente:

1. Los pacientes tienen derecho a recibir información sobre el diagnóstico, pronóstico y posibilidades, siendo este comunicado con las palabras más adecuadas. (artículo 11 numeral 1)
2. El médico proporcionará información suficiente y ponderada, a fin de obtener el consentimiento imprescindible para practicarlas. (artículo 11 numeral 2

3. Es derecho del paciente obtener un certificado o informe, emitido por el médico, relativo a su estado de salud o enfermedad o sobre la asistencia que le ha prestado. El sentido del dictamen será autentico y veraz y será entregado únicamente al paciente o a otra persona autorizada. (artículo 12)

Por tanto, con el presente documento escrito se pretende informar a usted y a su familia acerca del procedimiento que se le practicar, por lo que solicitamos llene de su puño y letra los espacios en blanco.

Codigo N^0: -…….

El Paciente ……..de ……. Años

Posee el N^0 CI: …… de ……..

Y/o el señor/señora ……

N^0 CI: …… de ……

En calidad de representante legal, familiar o allegado.

DECLARAN:

Que el doctor o evaluador:

……..identificado con

CI. N……., nos ha explicado y suministrado la siguiente información sobre la medición de la huella plantar mediante la captura y procesamiento de imágenes.

1. Que el proceso de captura de la imagen es un sistema que no afecta la salud del paciente
2. Que el presente procedimiento consta de cuatro muestras para la captura, procesamiento del área de presión, índice de cavidad y la normalización de la huella.
3. Que las imágenes tomadas serán para uso investigativo del laboratorio de Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana.

Por lo tanto, en mi caso por ser o presentar:
……..entiendo que tengo riesgo de presentar dichas complicaciones.
En tales condiciones acepto
ACEPTO
Que el doctor o evaluador…….. realice la toma de datos mediante el proceso de captura y su posterior procesamiento.

Firma paciente. Firma Medico / Evaluador.
…….. ……..
Firma Testigo Ciudad y Fecha
……. ……..

VI. PROTOCOLO DE REGISTRO DE LAS IMÁGENES PLANTARES.

1. Llenar la ficha del paciente.
2. Llenado del consentimiento informado del paciente.
3. Indicarle al paciente que la prueba se realiza con los pies descalzo, sin media calcetín.
4. Limpiar con un paño húmedo y posterior secar con un toalla suave a los pies.
5. El paciente tendrá que subir por el peldaño del equipo apoyándose de las barandas si fuese necesario, y ubicarse en la zona previa de pisada.
6. Preparar el computador.
7. Limpiar la zona de refracción.
8. Recalcar al paciente que para la captura de la impresión plantar el mismo, deberá ubicar en la zona de captura en una posición lo mas natural y relajada.
9. Indicar al paciente que los pies deberán estar centrados sobre la zona de captura.
10. Verificar que el paciente este en postura erguida, los brazos y cuerpo totalmente relajado, y en lo posible mantener esta postura durante el registro evitando moverse o tener cambios de postura en lo posible.
11. Una vez el paciente en la zona de captura, realizar la activación del programa de manera que realice el procesamiento de las imágenes.
12. Proporcionar al paciente una toalla para la limpieza de los pies.
13. Limpiar la zona de captura.
14. Se estima que el tiempo dedicado a cada paciente estará entre 10 – 15 minutos.

VII. BIBLIOGRAFIA.

[1] Código deontológico medico, *Capitulo3 relaciones del medico con el paciente,* Octubre 2010, pág. 10**.** [en línea] < http://www.castello.san.gva.es/CODIGO DEONTOLOGICO. pdf [consulta: 25 de Octubre 2014]