

Prediagnóstico de Malformaciones del Pie

Juana Molina Méndez, Leonora Navarro García, Adriana E. Sánchez García.

José Luis Calderón Osorno, Edmundo René Durán Camarillo.

Escuela Superior de Cómputo. IPN

Av. Juan de Dios Batiz esq. Miguel Othon de Mendizábal S/N, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Col. San Pedro Zacatenco. México D.F., C.P. 07738.

Tel. 57-29-6000 ext. (52021). Fax. 57-29-61-86.

E-mail: jcalderono@hotmail.com, edmundordc@hotmail.com

RESUMEN

El sistema que se presenta es un prediagnóstico de diferentes malformaciones del pie, se fundamenta en técnicas de Ortopedia, Lógica difusa, Tratamiento digital de imágenes.

El proyecto consiste de un sistema de cómputo el cual captura la huella del pie a través de una cámara digital, llevando a cabo un análisis en tiempo real, con el fin de obtener la malformación que presenta el individuo.

Palabras claves:

Pie, podoscopia, podografía, plantigrafía, tratamiento digital de imágenes, conjuntos difusos.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando nace, el ser humano no tiene un pie configurado; en el bebé los arcos del pie no son perceptibles. Solamente cuando el niño ha adoptado la posición de pie y se aplican a éste los esfuerzos de las tensiones derivadas del soporte del peso y la marcha, se empiezan a hacer aparentes los arcos, especialmente el longitudinal. Durante los primeros años de vida, el pie se encuentra en periodo formativo. Al principio, es una estructura muy flexible que no ha desarrollado la fortaleza necesaria, por lo que cualquier tensión anormal que se ejerza sobre él supone sobrecargas indebidas que serán mal toleradas. Además, los pies de los niños son órganos a través de los cuales reciben mucha información, estímulos que generan respuestas.

La intervención de factores externos e internos, tales como la acción de la gravedad y la de sus músculos extrínsecos e intrínsecos, han determinado sus características estructurales y funcionales.

La planta del pie o región plantar es homóloga a la palma de la mano. Es el sitio de sustentación del organismo y la zona por la que el hombre se pone en contacto con la superficie en donde se apoya o impulsa.

Los límites de la huella son: Por atrás, la planta del pie colinda con la cara posterior de la garganta del

pie, por adelante el límite es el pliegue dígito plantar y a los lados tiene por límites, en el borde medial, una línea que une el lado interno del talón con el mismo lado del dedo grueso y por el borde lateral, una línea que va del borde externo del talón con el mismo borde del quinto dedo.

La región plantar tiene forma de cuadrilátero alargado en sentido anteroposterior, es más angosta en su parte posterior, a nivel del talón y más ancha a nivel del pliegue dígito plantar.

La planta del pie no es plana, pues su parte interna y central no se apoya en el suelo, ahí se forma una ligera elevación, o arco longitudinal medial.

En México cuando menos el 80% de la población tiene problemas en los pies, que a menudo pueden corregirse mediante una valoración, tratamiento y ante todo, un cuidado adecuado. Las lesiones del tobillo y del pie pueden alterar la mecánica de la marcha y como resultado, originar esfuerzos en otras articulaciones del miembro inferior, a su vez, esto puede originar alteraciones en dichas articulaciones. Cuando se valora el pie se debe revisar la posición del pie cuando soporta peso pues ésta señala cómo compensa el cuerpo las anomalías estructurales. Los contornos óseos deben ser normales y hay que observar cualquier desviación.

Son múltiples las causas capaces de generar un pie doloroso, incompetente para sostener el peso del cuerpo, propulsarlo en la marcha o equilibrarlo sobre el piso.

Clasificación

Malformaciones congénitas. Son las malformaciones observadas desde el nacimiento. Ejemplos: pie plano-valgo congénito, pie bot, pie cavo congénito, primer metatarsiano atávico.

Deformaciones adquiridas:

- a) Del pie: pie plano longitudinal, pie plano valgo, pie plano anterior (o transversal).

- b) De los dedos: hallux-valgus, hallux-rigidus, dedos en garra (o en martillo), lesiones del 5º dedo.
- c) Metatarsalgias.
- d) Talodineas o talalgias.
- e) Artropatías reumáticas: gota úrica, artrosis, artritis reumatoideas.
- f) Lesiones vasculares.
- g) Lesiones de partes blandas.
- h) Tumores óseos y de partes blandas.
- i) Lesiones de la piel y fanéreos: uña encarnada, queratosis (callosidades).

Por supuesto que estas deformidades pueden combinarse (y de hecho lo hacen), siendo muy raras las deformidades en un solo plano. Así, tendremos Pies Talo-Valgos, Equino-Varo, etc.

En cuanto a las clasificaciones hay diferencias entre los investigadores, aunque todos coinciden en *tres tipos básicos de pie*.

- Normal.
- Plano.
- Cavo.

El pie puede clasificarse de manera general como: pie normal, pie plano y pie cavo. De alguna forma, los dos últimos tipos de pie dan origen a las dos malformaciones básicas que éste presenta y que de alguna manera pueden detectarse realizando un análisis sobre la huella del pie.

La huella de un pie normal demuestra que el arco longitudinal entra en contacto con el suelo únicamente en su lado externo; pero si el arco es más plano por naturaleza, no interfiere la normal función del pie.

Se puede definir el Pie Plano, siguiendo a Viladot, como "Aquel pie que presenta una deformidad en valgo del retropié (pronación), asociada generalmente a un hundimiento de la bóveda o arco plantar en carga, y a una tendencia a la supinación del antepié".

Se puede considerar que este tipo de pie es FISIOLÓGICO, es decir, *NORMAL hasta los 4 años* de edad, debido a la hiperlaxitud de los ligamentos articulares en esta época de la vida, y a la persistencia de una almohadilla de grasa en la bóveda plantar del pie, que nos da la apariencia de un *falso pie plano*.

La deformidad en cavo del pie, también es un motivo frecuente de consulta, sobre todo en edad escolar a partir de los 4 años, bien porque los padres hayan observado un desgaste anormal del zapato, o por los reconocimientos escolares.

Podemos definir el Pie Cavo como una "Deformidad caracterizada por un aumento excesivo de la bóveda plantar, con una desviación del retropié en varo o valgo".

Hay muchas CAUSAS que pueden provocar un Pie Cavo, siendo las más frecuentes, las Enfermedades De Tipo Neurológico (Polio; Ataxia de Friedrich; Parálisis Cerebral; etc.), pero una vez descartadas dichas posibilidades patológicas, nos queda el llamado *Pie Cavo Esencial o Idiopático* que es aquel que presenta un aumento de la bóveda plantar sin que encontremos una causa que lo justifique.

II. DESARROLLO

I. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

La Fig. 1 muestra el diagrama a bloques del sistema para el prediagnóstico de las malformaciones del pie; en donde, de acuerdo al estado del arte que se ha realizado debemos indicar que la limitación del alcance de nuestro sistema se debe directamente a la limitación del estudio del pie ya que el sistema se basa únicamente en el análisis de la huella lo que conlleva que la cantidad de malformaciones se limite a las siguientes:

1. Pie normal
2. Pie normal con desviación en varo
3. Pie normal con desviación en valgo
4. Pie plano de primer grado
5. Pie plano de segundo grado
6. Pie plano de tercer grado
7. Pie plano valgo de primer grado
8. Pie plano valgo de segundo grado
9. Pie plano valgo de tercer grado
10. Pie cavo de primer grado
11. Pie cavo de segundo grado
12. Pie cavo de tercer grado

En general el sistema cuenta con una entrada principal que es la imagen de la huella y una salida que es el prediagnóstico. Los datos del paciente son entradas secundarias ya que de cierta manera es información que compete al doctor o usuario final.

El sistema está contemplado de la siguiente manera: Debe contar con una base de datos para que se tenga almacenado info. del paciente, como una clave y su nombre; primero se debe notificar lo sig.: existe dicho registro o es uno nuevo. Después se procede a ser la captura de la imagen, el tratamiento de ella y la detección de la malformación. Por último, se organiza la información recibida en el sistema y se arma el resultado del prediagnóstico.

1 Módulo De Captura De La Imagen

Como se ha mencionado debemos capturar la imagen de la huella del pie de forma digitalizada para poder trabajar sobre ella. Además, es el primer proceso de importancia que ejecutará el sistema pues es la información base para encontrar la malformación, de ahí la importancia de la elección de

los elementos para la captura y el proceso para llevarla a cabo.

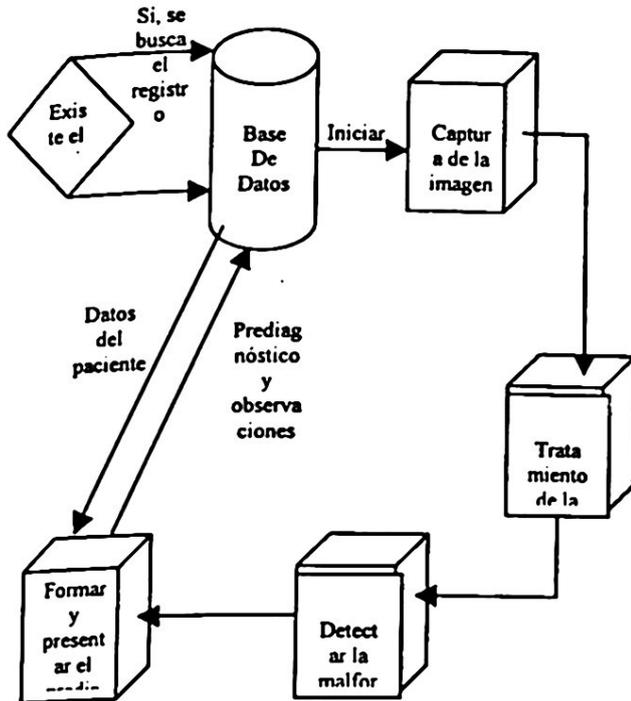


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema

Este módulo consiste en la adquisición de la imagen digital. Para ello se necesita de un sensor de imágenes y la posibilidad de digitalizar la señal producida por el sensor. El sensor puede ser una cámara de televisión, monocroma o de color. El sensor de imágenes puede ser también una cámara de barrido de líneas que produzcan una línea de la imagen cada vez. Si la salida de la cámara o de otro sensor no está todavía en forma digital, puede emplearse un convertidor analógico-digital para digitalizarla. La naturaleza del sensor y la imagen que produce vienen determinadas por la aplicación.

Para la captura de la imagen debemos tomar en cuenta que la propuesta para implementarla fue diseñar un prototipo que permitiera realizarla y que consiste en una base parecida a un podoscopio y una cámara digital, este prototipo se muestra en la fig. 2.



Figura 2. Prototipo para la captura

La captura se hará a través de los siguientes elementos, como se muestra en la Fig. 3:

- Cámara Digital
- Computadora Personal
- Tarjeta de Captura WinVisionPro

2 Módulo De Tratamiento De La Imagen

La imagen pasa por un procesado antes de mandarle las salidas para el siguiente modulo y este proceso es el siguiente:

-Negativo de la imagen

Los negativos de las imágenes digitalizadas son útiles en numerosas aplicaciones, como la representación de imágenes médicas. La idea es convertir el orden de blanco a negro, de forma que la intensidad de la imagen de salida disminuya conforme la intensidad de la imagen de entrada aumente. El negativo de una imagen no es otra cosa que la inversión de sus valores de color.

Lo que obtenemos es la imagen tal y como aparece en los carretes de fotos cuando se revelan (no en el papel, sino en la película).

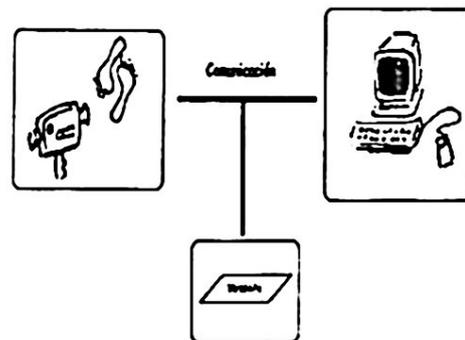


Figura 3. Elementos de captura

Para el caso del negativo solo es necesario aplicar la siguiente operación sobre cada uno de los píxeles de nuestra imagen en escala de grises:

$$\text{nuevo_pixel} = 255 - \text{viejo_pixel}$$

Como se puede comprobar si el pixel tenía el valor 0 (negro) su nuevo valor pasaría a ser 255 (blanco) y de forma análoga un valor 255 (blanco) se convertiría en el valor 0 [9].

-Umbralizado

Conocido como *umbralización fija*, se puede usar en aquellas imágenes en las que existe suficiente

contraste entre los diferentes objetos que se desean separar. Así, se puede establecer un valor fijo que marque el umbral de separación sobre el histograma. Para obtener dicho umbral se debe disponer de información sobre los niveles de intensidad de los objetos a segmentar y del fondo de la imagen. De esta forma la imagen binaria resultante $B(i, j)$ se define a partir de la imagen digital original $I(i, j)$ en función de un valor U que corresponde al umbral de separación seleccionado.

$$B(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{si } (i, j) \geq U \\ 0, & \text{si } (i, j) \leq U \end{cases}$$

Como puede deducirse, la elección de un valor de umbral correcto resulta decisiva para llevar a cabo la segmentación de una imagen de manera satisfactoria. La obtención del umbral se basa en el histograma de la imagen. Cuando en el histograma se aprecian uno o más lóbulos, éstos suelen corresponder con una o varias zonas de la imagen, las cuales comparten niveles de intensidad similares. Estos objetos pueden ser directamente los objetos a segmentar o corresponder a partes homogéneas de objetos más complejos. Lógicamente la transición de un lóbulo a otro se corresponde con un mínimo del histograma, siendo estos mínimos puntos sobre los que se suele umbralizar. La búsqueda de dichos mínimos (basado en el cálculo de derivadas) se encuentra dificultada por la naturaleza ruidosa del histograma. Para atenuar este problema suele aplicarse un filtro de suavizado sobre el histograma de la imagen.

3 Módulo De Detección De Las Malformaciones

Como se ha descrito en los apartados anteriores primero se realiza la captura de la imagen y después se le aplica un tratamiento para eliminar el ruido e información innecesaria y obtener valores que nos permitan detectar qué deformidad presenta el pie.

Se determinó que con las características que presenta cada malformación es posible establecer una base de conocimientos o conjunto de reglas y así generar un sistema experto para resolver este problema.

Dentro de las observaciones que se han realizado por diferentes investigadores [1], [6],[8], se pudo detectar que no existe límite establecido, en cuanto a un valor numérico preciso, que diga qué deformidad se presenta ya que basándonos en la teoría podemos ver que los tipos de pies se limitan de una forma vaga o imprecisa pues las variaciones se establecen poco a poco así un pie puede verse como poco normal y caer en plano, o bien, poco plano y caer en normal. Lo mismo se presenta para el caso del pie cavo ya que no es preciso decir en qué momento el pie deja de ser normal para caer en

cavo. Obsérvese que hacer hincapié en el tipo de pie es importante debido a que es el punto de partida para completar la deformidad, buscando su grado y su desviación.

Aunque también debemos considerar que las características para determinar éstos últimos tienen límites poco establecidos.

En el presente trabajo se utiliza un sólo sistema experto difuso o unidad de inferencia difusa (UID).

Un sistema difuso se basa en tres bloques: Fusificación, Mecanismo de inferencia (Evaluación de Reglas) y Defusificación, como se muestra en la Fig. 4.

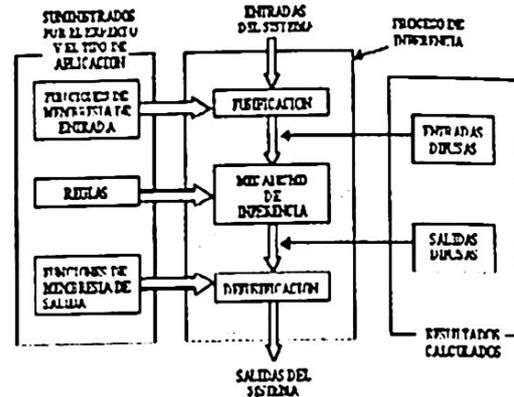


Figura 4. Diagrama de un sistema difuso

a) Fusificación

La fusificación es un proceso de conversión para cambiar datos medidos del mundo real (entradas del sistema) a un valor lingüístico en el mundo de la lógica para lo cual se utilizan las funciones de membresía de las variables lingüísticas para calcular el grado de pertenencia (grado de verdad) para cada término en un conjunto; este es el primer paso y debe de ser realizado para cada variable de entrada, el resultado es utilizado como entrada al mecanismo de inferencia.

b) Mecanismo de inferencia

El mecanismo de inferencia (también llamado módulo de "motor de inferencia", "reglas de evaluación") permite interpretar y aplicar el conocimiento sobre como controlar mejor el sistema [11].

Las reglas de control son relaciones que se utilizan para expresar la relación existente entre los conceptos imprecisos y el comportamiento que gobierna al sistema que se quiere controlar, el experto debe desarrollar todo un conjunto de estas reglas -tantas como sean necesarias- para lograr una buena descripción del sistema a controlar. Cada regla tiene la forma de una declaración IF - THEN. La parte IF de la regla contiene una o más condiciones, llamadas antecedentes. La parte THEN de la regla contiene una o más acciones, llamadas

consecuencias. Los antecedentes de las reglas corresponden directamente al grado de membresía (entrada difusa) calculada durante el proceso de fusificación. La cantidad de reglas depende de todas las posibles combinaciones que se puedan dar entre las funciones de membresía de la entrada y la salida. Cada una de estas reglas cuentan con un grado de soporte o prioridad, el cual indica que regla contribuirá en mayor o menor parte a la salida generada por el sistema en determinado momento; la asignación de estos grados de soporte depende de la experiencia del diseñador en el proceso de control. El grado de soporte permite no ser tan radical en la evaluación de las reglas ya que permite tener una evaluación parcial de las mismas.

c) Defusificación

El resultado final del sistema lógico difuso es la determinación de un valor de salida real que pueda ser utilizado por la aplicación o proceso de control. El valor difuso (salida difusa) es convertido a un valor real (salidas del sistema) en el proceso de Defusificación. Existen varios métodos diferentes de Defusificación utilizados en los sistemas de lógica difusa. Cada método de Defusificación utiliza una fórmula matemática para calcular la salida final basado en la fuerza de todas las reglas lógicas que han sido disparadas. Las variables en las fórmulas son grados de membresía de entrada y salida. Para realizar la Defusificación se debe de contar con las funciones de membresía de la variable de salida.

El tipo de sistema difuso que utilizamos fue el de Mamdani [12], el cual presenta las siguientes características:

Sistema Difuso Tipo Mamdani

- Entradas y salidas son números reales
- Si (a es A1) ^ (b es B1) entonces c es C1
- Si (a es A2) ^ (b es B2) entonces c es C2 - Representan una aplicación
- $f: A \times B \Rightarrow C$
- Esquema de inferencia

Las entradas de nuestro sistema son:

- a) Porcentaje de arco
- b) Un valor Booleano de la presencia de supinación
- c) Un valor Booleano de la presencia de pronación
- d) Porcentaje del ancho de la huella

Las salidas del sistema son las tres observaciones que se puede hacer sobre el pie y son:

- 1) Tipo de pie, que nos determina si el pie es normal, plano o cavo
- 2) Grados de las malformaciones, el pie plano y cavo tienen básicamente tres niveles
- 3) Deformidad en valgo o varo para el pie normal y plano.

Las entradas y salidas se muestran en la Fig. 5.

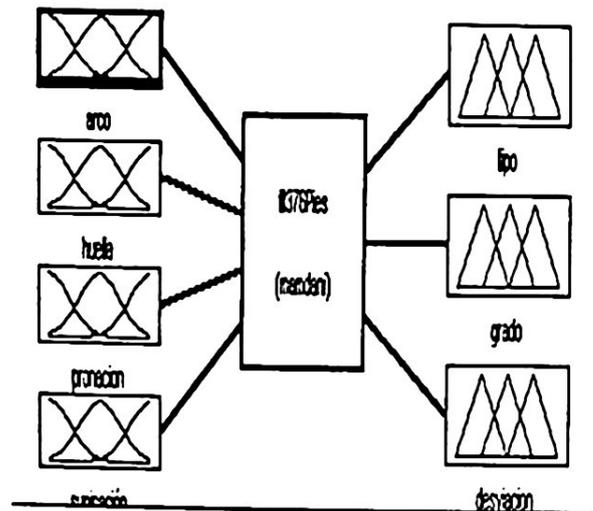


Figura 5. Entradas y Salidas de la UID.

III. RESULTADOS

Para poder calcular la efectividad del sistema se hicieron pruebas con las imágenes de 100 niños que se tenían en la base de datos.

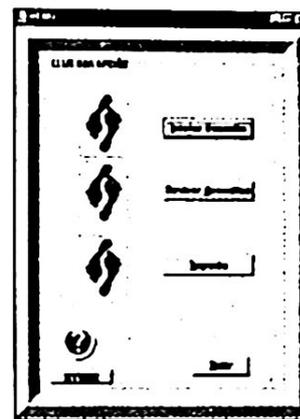


Figura 6. Menú principal.

Los resultados fueron revisados por el ortopedista, así que de forma cualitativa determinaban si por la imagen que se mostraba lo que decía el sistema era correcto o no, así como por la experiencia del mismo doctor.

Cabe mencionar que pocas veces se pueden tener tipos de pie extremos en un mismo paciente. Esto es, es posible tener pie plano de primer grado y pie normal, o bien, pie normal y pie cavo de primer grado; pero raramente es normal que se presente pie plano en un pie y pie cavo en el otro.

Así, que con las consideraciones señaladas se pudo observar que de las 100 muestras 85 resultaron con prediagnóstico favorable y 15 no.

De aquí el hecho de haber determinado que el sistema cuenta con un 85% de efectividad.

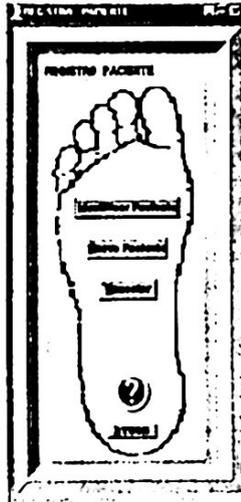


Figura 7. Registro de pacientes.

Cabe mencionar que de los 15 pacientes de los que se detectó un error, tenía que ver mucho con la forma en que se recargaban pues la imagen no permitía obtener valores correctos y por consiguiente el sistema experto arroja un error.

Por esto la efectividad del sistema depende en su totalidad de la buena disposición de la persona para permitir que se obtenga una imagen conveniente.

El sistema le mostrará una serie de pantallas entre las cuales se encuentran las mostradas en las figuras 6, 7, 8, 9, y 10.

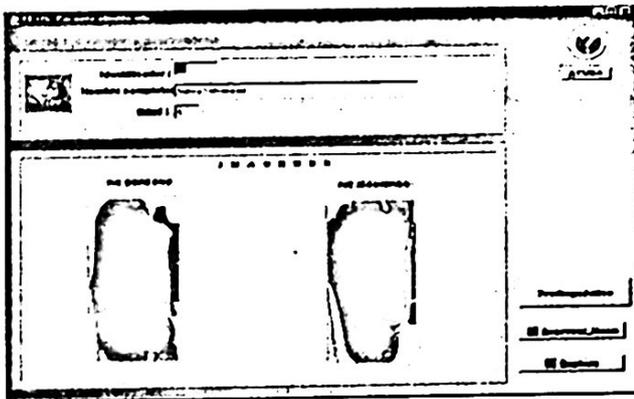


Figura 8. Identificación del paciente.

IV. CONCLUSIONES

La exploración ortopédica se inicia con el análisis estático del pie.

Para el análisis clínico del pie son de gran ayuda las imágenes plantares, obtenidas con el podoscopio o

con el podógrafo. En ellas se estudia la forma de región plantar y la distribución de las zonas de carga.

Las impresiones que se obtienen en el podógrafo, son útiles para la elaboración de los soportes plantares, señalándose en ellos las correcciones que tiene que hacer el ortesista.

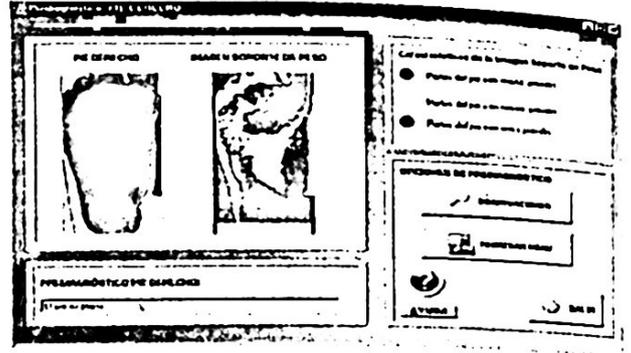


Figura 9. Prediagnóstico de PIE DERECHO.

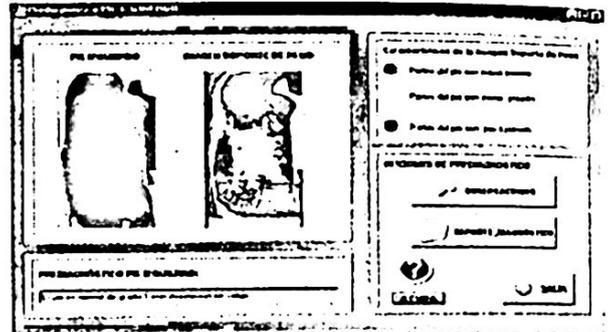


Figura 10. Prediagnóstico de PIE IZQUIERDO.

En el podoscopio puede observarse cómo al principio de la carga del peso del cuerpo, el pie se ensancha, para después volverse a formar los arcos.

En la huella normal, se marcan la zona de carga talón, que tiene una forma más o menos elíptica, talón anterior y los cinco dedos. Las zonas de talones están unidas por una banda externa, que el adulto mide alrededor de 15mm en su parte central. Su borde interno es cóncavo hacia adentro. El eje de los talones anterior y posterior se proyecta en línea recta.

La huella obtenida con el podógrafo es uniforme toda su extensión.

Lo que se ha explicado es en lo que basamos diseño de nuestro sistema, ya que con la imagen digitalizada se pueden tener las observaciones que dan el podoscopio y el podógrafo.

Concluyendo, el sistema consta de 4 fases importantes: Captura de la imagen digital, tratamiento

de la imagen digital, detección de la malformación a través de los datos encontrados en la imagen por medio de un sistema de control difuso y lo último es enviar los resultados para armar y presentar el prediagnóstico al doctor. Se le ha agregado una base de datos para guardar información relacionada con el paciente.

El sistema es capaz de reconocer 12 malformaciones del pie, las cuales se pueden detectar confiablemente con sólo analizar la huella del pie.

El sistema reporta una eficiencia del 85%, recordando que es fundamental que el paciente se suba a la base y pise como normalmente lo hace.

La ambigüedad que tiene la ortopedia para establecer en qué punto el pie presenta o no alguna de estas deformaciones se trató con la Lógica difusa a través de sus conjuntos difusos y operadores difusos.

REFERENCIAS

- [1] "Manual de ortopedia mecánica", Dr. Alfonso Token Zamudio, Págs. 237-270
- [2] "Ortopedia", Magee, Págs. 446-466
- [3] "Ortopedia: Principios y aplicaciones", Tomo II, Samuel Turek, Págs. 1518-1541
- [4] "Ortopedia traumatológica", Jorge E. Valls, Págs. 219-225
- [5] "Ortopedia y traumatología", Valls, Pernuelo, Arellano y otros, Págs. 301-307
- [6] "Manual de ortopedia", P. Pitzen, H. Rössler, Págs. 323-352
- [7] "Cirugía ortopédica", Págs. 2588-2667
- [8] "Deformidades del pie. Tratamiento conservador", Gonzalo Vázquez Vela
- [9] "Tratamiento digital de imágenes", Rafael C. González, Richard E. Woods
- [10] Help de MatLab, archivo: MATLABR11\help\pdf_doc\fuzzy\fuzzy_tb.pdf
- [11] Software fuzzyedu: Fuzzy Logic Education Program (de Motorola)
- [12] Timothy J. Ross "Fuzzy Logic with Engineering Applications", McGraw-Hill, Inc, U.S., 1995.