

Diseño e Implementación de un Sistema de Baropodometría Electrónica para niños

A. Guerra Pozo, E. Montes Salgado, F. Pineda López, D. Benítez Mejía

Resumen—El presente proyecto está enfocado a la implementación de un Sistema de Baropodometría Electrónica para niños con talla de pie número 28. El sistema está constituido por un par de plantillas instrumentadas, una tarjeta de adquisición de datos conectada a la plantilla y un dispositivo Bluetooth para enviar las señales a un computador para su procesamiento. Se ha realizado pruebas con niños de ambos sexos y sus resultados han sido evaluados por un médico especialista en fisioterapia pediátrica, el cual ha valorado satisfactoriamente al sistema ya que ha permitido detectar anomalías en la pisada de los pacientes que presentan problemas en la marcha calificándolo al sistema como óptimo para la talla N° 28 del pie.

Palabras claves— baropodometría, ciclo de marcha, plantillas instrumentadas, presión en las zonas del pie, sensores de fuerza resistivos FSR.

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consiste en el Diseño e Implementación de un Sistema de Baropodometría Electrónica para niños, el cual está compuesto por un par de plantillas para niños con talla del pie número 28 y peso máximo de 100 libras, las cuales están estructuradas con sensores de presión 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.

Una vez obtenida la información del comportamiento biomecánico de los pies mediante un sistema de adquisición, los datos se transfieren al computador a través de un módulo de transmisión inalámbrica. En el computador, los datos registrados serán transformados en imágenes para facilitar la visualización del médico.

A. Guerra Pozo, Ingeniera Electrónica en Automatización y Control, graduada en la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, Sangolquí-Ecuador, (email: caro-7g@hotmail.com)

E. Montes Salgado, Ingeniera Electrónica en Automatización y Control, graduada en la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, Sangolquí-Ecuador, (email: gabye_montecitos@hotmail.es)

F. Pineda López, profesor del Departamento de Eléctrica y Electrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí-Ecuador, (email: fm-pineda@espe.edu.ec)

D. Benítez Mejía, profesor del Departamento de Eléctrica y Electrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí-Ecuador, (email: dsbenitez1@espe.edu.ec)

II. ASPECTOS GENERALES DEL PIE

A. Anatomía

El pie es la parte del miembro inferior distal a la pierna, La Figura. 1. muestra sus 3 zonas: tarso, metatarso y falanges [3].

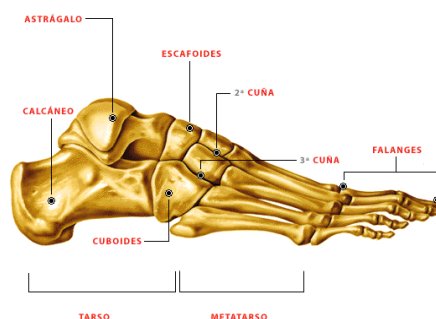


Figura. 1. Anatomía del pie

B. Ciclo de Marcha

En la Figura. 2. se explica el ciclo de marcha, el cual inicia con el impacto de talón en el suelo; el 15% el antepié también contacta con el suelo, por lo que esta subfase se denomina "pie plano sobre el suelo" o media; al 40% del ciclo, el talón comienza a elevarse del suelo (subfase de despegue de talón o final), al 50%, despegue el antepié, que culmina al 60% del ciclo con el despegue de los dedos, lo que indica también el comienzo de la fase de oscilación [5].

Existen el apoyo bipodal o doble apoyo, que se caracteriza porque los dos pies contactan con el suelo; y el apoyo monopodal durante el cual tan sólo un miembro inferior contacta con el suelo y sobre él recae el peso del cuerpo [5].

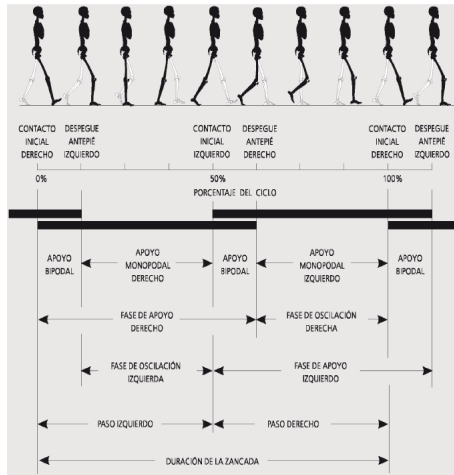


Figura. 2. Ciclo de Marcha

III. HARDWARE

Para el diseño del hardware se dividió al Sistema en 5 bloques los cuales se encuentran ilustrados en la Figura. 3.

- Las plantillas instrumentadas están formado por un par de plantillas flexibles, implementadas con sensores de presión FSR 0,5'' que se introducen dentro del calzado, obteniendo con esto el mapa de presiones plantares durante la marcha.

- El Circuito de Acondicionamiento se encarga de alimentar a los elementos del sistema y de garantizar un comportamiento adecuado del sensor de acuerdo a los requerimientos.

- La Tarjeta de Adquisición de datos Arduino Mega 2560 está conectado a las plantillas, su función es recibir los datos sensados y mediante un dispositivo Bluetooth enviarlos a un computador para su procesamiento.

- El software muestra la interfaz gráfica que permite observar las características de las huellas plantares para su diagnóstico y tratamiento.



Figura. 3. Diagrama de bloques del Hardware

La Figura. 4. indica el prototipo final del Sistema de Baropodometría.



Figura. 4. Prototipo Final

IV. SOFTWARE

Se ha considerado conveniente implementar el sistema bajo la plataforma Labview porque es compatible con la tarjeta Arduino Mega 2560, capaz de tomar datos en tiempo real, presentar los mismos en forma gráfica y permitir conexión bluetooth.

El flujograma general del software que se muestra en la Figura. 5. comienza su proceso con la inicialización de las variables con lo cual se encerraran los valores de los datos al inicio de la aplicación; además permite la selección del puerto COM para el establecimiento de la conexión bluetooth, luego se realiza la adquisición de datos en tiempo real de las señales provenientes de los sensores, se crea la interfaz gráfica seleccionando los elementos para el diseño de las pantallas, el procesamiento realiza la transformación de voltaje a presión, la creación de gráficas muestra las curvas de presión y la huella plantar además realiza la interpolación, y colorimetría, y finalmente la visualización de resultados permite la captura de cada una de las pantallas y almacena los datos para su verificación.

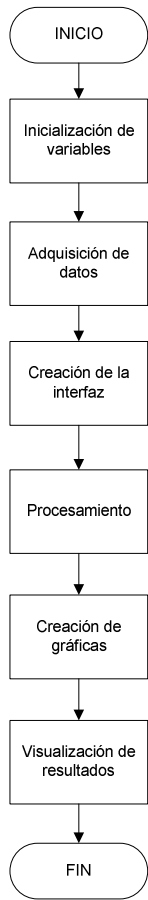


Figura. 5. Flujograma del Software

El software del Sistema está constituido por las ventanas indicadas en las Figuras 6,7, 8, 9, 10.



Figura. 6. Carátula



Figura. 7. Datos del Paciente

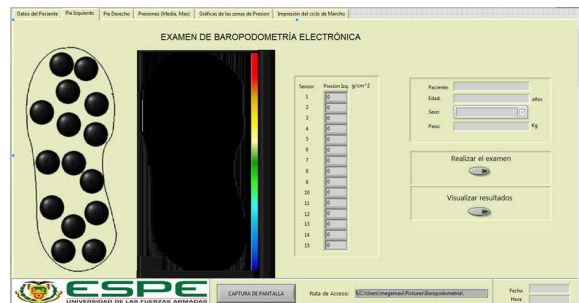


Figura. 8. Pie Izquierdo /Pie Derecho

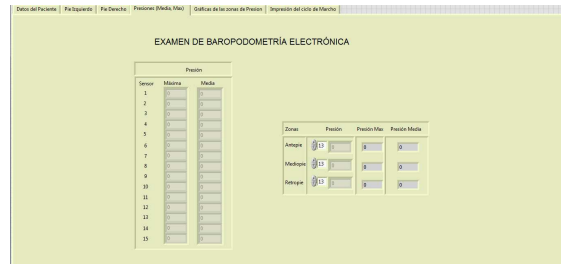


Figura. 9. Pestaña Presiones (Media, Máx)

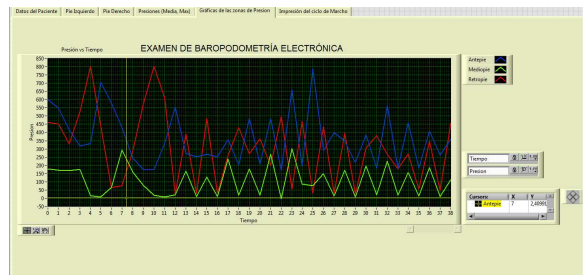


Figura. 10. Gráficas de las zonas de Presión

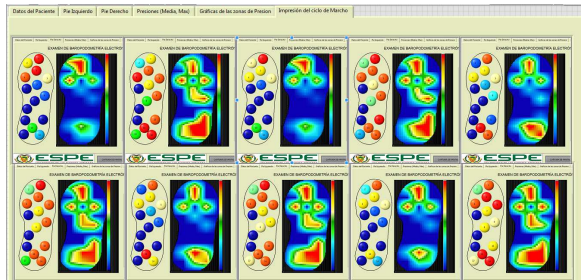


Figura. 11. Impresión del ciclo de marcha

V. PRUEBAS DEL SISTEMA DE BAROPODOMETRÍA

Para la realización de las pruebas con el prototipo Sistema de Baropodometría Electrónica se han definido 3 escenarios bajo los cuales se realizarán las pruebas.

La Figura. 12. ilustra el escenario 1 el cual contiene una muestra de los pacientes con pisada correcta



Figura. 12. Pruebas de pacientes con pisada correcta

La Figura. 13. ilustra el escenario 2 el cual contiene una muestra de los pacientes con anomalías en la pisada



Figura. 13. Pruebas de pacientes con anomalías en la pisada

La Figura. 14. ilustra el escenario 3 en la cual se valida el sistema con la interpretación de personal médico especializado.



Figura. 14. Validación del prototipo

Los resultados obtenidos interpretados por un Fisioterapeuta pediátrico son:

- Paciente con pisada correcta

La Figura. 15. muestra la impresión del ciclo de marcha durante un examen de baropodometría dinámica realizada a un paciente de 6 años, varón que pesa 30 libras.

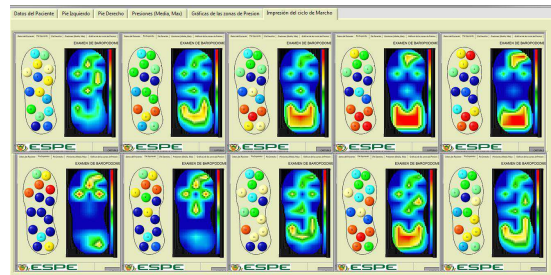


Figura. 15. Impresión ciclo de marcha paciente con pisada correcta

En la Figura. 16. se indican una serie de muestras, se puede observar un apoyo inicial en el talón.

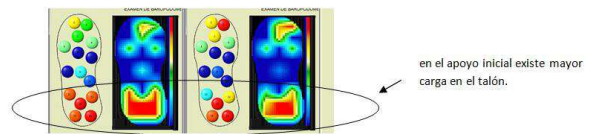


Figura. 16. Mayor zona de presión del pie

En la Figura. 17. Se observa una decoloración en la zona del mediopié que representa la falta de carga de peso al menos en el borde interno del arco plantar.



Figura. 17. Menor zona de presión del pie

En la Figura. 18. se observa la gráfica de las zonas de presión indicando que la mayor cantidad de carga se encuentra en el retropié (línea roja) y una carga también correlacionada en azul en el antepié, la gráfica en verde distingue al mediopié en donde no se desarrolla mayor carga, además se puede observar cuando inicia un ciclo de marcha, el cual sería en cada pico de la curva del retropié.

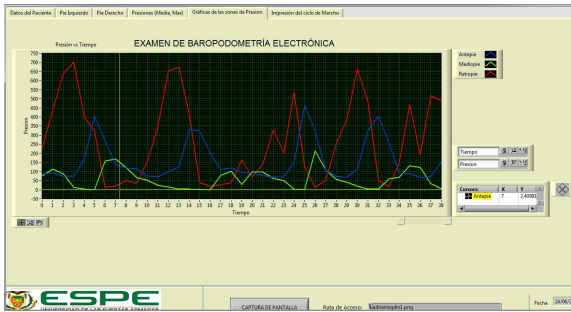


Figura. 18. Gráficas de las zonas de presión – Paciente con pisada correcta

La Figura. 19. muestra los valores numéricos de presión.

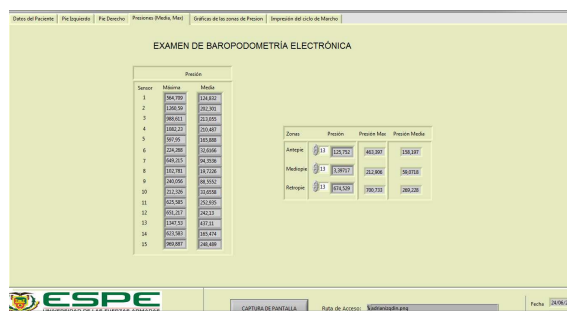


Figura. 19. Presiones (Media, Max) – Paciente con pisada correcta

La Figura. 20. indica que las mayores concentraciones de carga son en el antepié y retropié; en el retropié se observa una carga bastante alta al menos en los sensores del calcáneo, que es donde se apoya el talón. En el mediopié la carga es pequeña.

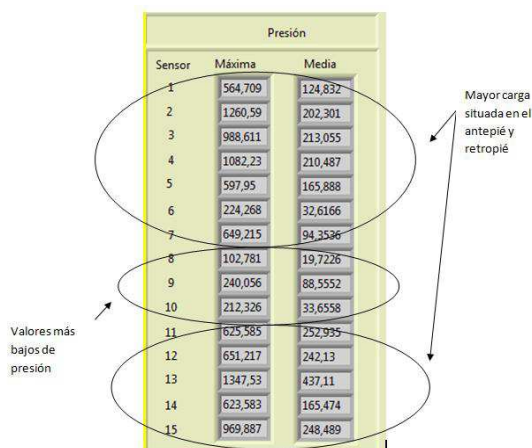


Figura. 20. Presiones máximas y mínimas

Esto es una condición normal en niños y en personas que tienen un arco plantar y un sostén arquitectónico del pie bien definido.

Todas las condiciones analizadas anteriormente nos permiten concluir que el ciclo de marcha del niño en estudio está apegado a lo normal.

- Paciente con anomalías en la pisada

La Figura. 21. muestra la impresión del ciclo de marcha durante un examen de baropodometría estática realizada a un paciente de 7 años, varón que pesa 50 libras .

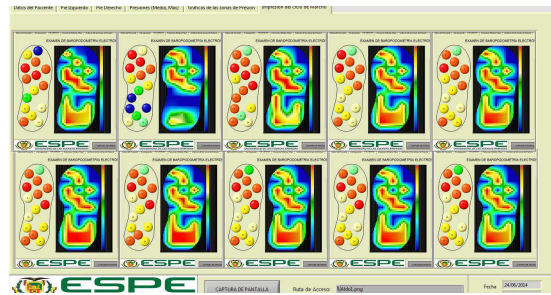


Figura. 21. Impresión del ciclo de marcha

En el examen realizado mostrado en la Figura. 22. se observa un trastorno que está definido por un mayor apoyo en la parte interna del pie, en la parte lateral falta carga de peso.

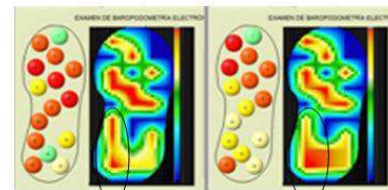


Figura. 22. Trastorno en la pisada estática

En la Figura. 23. se observa también el exceso de carga en el arco plantar (mediopié) .

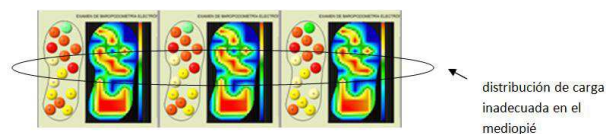


Figura. 23. Distribución de la carga de peso en el mediopié

Siendo una baropodometría estática se debe observar en la Figura. 24. la huella de la carga del pie en los metatarsianos y bien distribuida en el talón, pero en este paciente en todas las graficas se aprecia una mayor carga en los sectores del borde interno y en el primer metatarsiano, lo que nos sugiere un pie pronador plano.

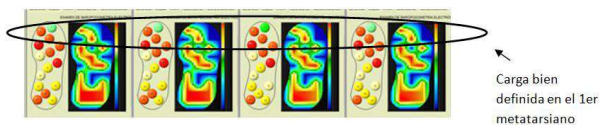


Figura. 24. Sobrecarga en el borde interno del pie derecho

La Figura. 25. indica la Grafica de las zonas de presión en un examen de baropodometría estática.

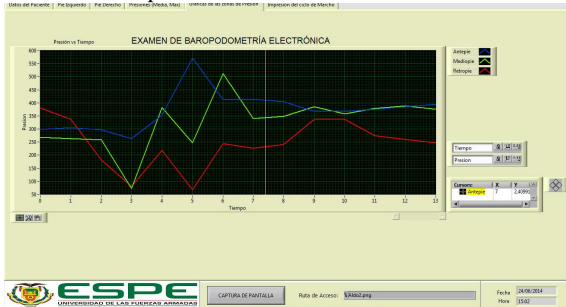


Figura. 25. Gráficas de las zonas de presión

Se espera que en un examen de baropodometría estática, el mediopié concentre la menor carga, pero en la Figura .25. se observa un aumento de carga en el mediopié y antepié, es decir en el retropié no existe mayor condición de carga, la línea verde correspondiente al mediopié debería ser la línea que registre menores presiones en condiciones normales.

La Figura. 26. se indica los valores numéricos de presión.

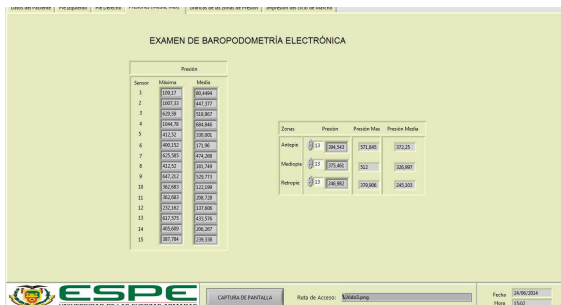


Figura. 26. Presiones (Media, Max)

La Figura. 27. muestra que los sensores del mediopié están sometidos a alta presión, y en el retropié existe falta de carga a nivel de talón, observándose la mayor distribución de carga en el antepié y mediopié.

Presión		
Sensor	Máxima	Media
1	109,17	80,4494
2	1007,33	447,377
3	629,59	518,867
4	1044,78	684,846
5	412,52	330,001
6	400,152	171,96
7	625,585	474,268
8	412,52	181,749
9	647,212	529,773
10	362,683	122,199
11	362,683	208,728
12	232,162	137,606
13	617,575	433,576
14	405,609	206,267
15	387,784	239,338

Los valores de presión son altos en el mediopié

Figura. 27. Presiones en el mediopié

El análisis anterior nos permite concluir que el niño tiene pie plano pronador.

VI. CONCLUSIONES

- Para que los sensores de fuerza no marquen un valor sin tener peso, es importante que todo el circuito tenga una tierra común y que las fuentes utilizadas tengan 2 capacitores en paralelo.

- Los exámenes baropodométricos permiten establecer que el estudio estático identifica de mejor manera el pie plano en el paciente, mientras que para la definición de pronación o supinación el estudio dinámico resulta más acertado. Ambos exámenes son muy importantes ya que el uno puede identificar patologías imperceptibles para el otro y viceversa.

- Uno de los principales requerimientos que se debe tener en cuenta en un sistema de baropodometría es el acelerado procesamiento de datos dinámicos e imágenes de la planta del pie en un tiempo corto con capacidad de cómputo en tiempo real.

- El registro de presiones plantares varía de paciente a paciente e incluso entre el mismo paciente debido a la posición del pie y al balanceo, éste último hace que varíe el peso que soportan las diferentes zonas durante la marcha. Además, también influye la metodología utilizada para la medición de las presiones plantares.

- En un examen de baropodometría dinámica se observa que conforme avanza el peso del cuerpo a la zona central del talón aumenta la superficie de apoyo, la presión se reduce en esa área.

- Al realizar la comparación entre el examen estático y dinámico, se encuentra que las zonas de presión son

similares, la diferencia más notoria que existe es la visualización de nuevas áreas y el aumento de la superficie de la zona central del talón.

VII. RECOMENDACIONES

- Para una buena captura de pantalla del ciclo de marcha no se debe cambiar de pestaña o de pantalla debido a que se realizan capturas de pantalla sucesivas de la marcha y cambiar de pestaña dañaría la impresión.

- Si el bluetooth empieza a parpadear o se apaga quite la energía al sistema, cierre el programa y reinicie el sistema.

- Para futuros prototipos se recomienda usar un Software que permita registrar una mayor cantidad de muestras en menor tiempo, con lo cual el examen va a tener resultados aun más reales.

- En la elaboración de las plantillas sería recomendable no doblar los sensores, ya que un peso excesivamente alto podría romper el sensor y dañar la plantilla por ende dañar la vida útil del sistema.

- Sería recomendable aumentar el número de sensores en las plantillas y de ser posible que sean de menor tamaño con el fin de tener datos de mayor superficie de sensamiento del pie.

- Optimizar el tamaño de la tarjeta de adquisición de datos para evitar desbalance en el centro de gravedad de la marcha.

REFERENCIAS

- [1] Encarnación, A. (Julio de 2012). *Análisis Biomecánico de la Marcha Nórdica*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de <http://roderic.uv.es/handle/10550/24309>
- [2] López, J. (s.f.). *Qué es la podología*. Recuperado el 03 de Julio de 2014, de <http://www.genbasa.com/clinipie/podologia.html>
- [3] Monroy, M. (s.f.). *Un estudio oportuno puede evitar operaciones de columna*. Recuperado el 12 de Agosto de 2014, de <http://www.vocero.com.mx/un-estudio-oportuno-puede-evitar-operaciones-de-columna/>
- [4] Portilla, Y. (Agosto de 2012). *Huesos del pie*. Recuperado el 06 de Junio de 2014, de http://yadyprinse.blogspot.com/p/huesos-del-pie_28.html
- [5] Sanz, M. (s.f.). *Cinesiología de la Marcha Humana Normal*. Recuperado el 8 de Agosto de 2014, de <http://wzar.unizar.es/acad/cinesio/Documentos/Marcha%20humana.pdf>