

Equipo mecatrónico coadyuvante para el tratamiento del pie diabético

Aníbal Rubén Mantilla Guerra

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias Universidad UTE
Quito, Ecuador
ruben.mantilla@ute.edu.ecu

Néstor Gabriel Gaibor De Witt

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias Universidad UTE
Quito, Ecuador
nes-tor-71@hotmail.com

Fecha de Recepción: 3 de Junio de 2020 - Fecha de Aceptación: 30 de Octubre de 2020

Resumen: Este artículo presenta el proceso de desarrollo de un equipo mecatrónico coadyuvante en el tratamiento del pie diabético. Con la determinación de las especificaciones técnicas para el diseño y construcción del equipo coadyuvante, fue posible usar de manera exitosa diversos métodos de ingeniería aplicada a la medicina, en base a las normas IEC60601 e ISO 14971.

Palabras Clave: pie diabético, diabetes, equipo biomédico.

Abstract: This document presents the process of developing a co-adjuvant mechatronic device in the treatment of diabetic foot. With the determination of the technical specifications for the design and construction of the coadjuvant equipment, it was possible to successfully use various engineering methods applied to medicine, based on the IEC60601 and ISO 14971 standards.

KeyWords: Assistant robot, vehicular driving, distraction, traffic accidents.



1 | Introducción

La diabetes mellitus es caracterizada por una hiperglucemia crónica que presenta alteración del metabolismo de los hidratos de carbono, de las grasas y de las proteínas; esto ocurre debido al defecto de la secreción de la insulina, de la acción de insulina o de ambas. La enfermedad a largo plazo produce daños, disfunción y fracaso de varios órganos, especialmente los ojos, los riñones, el corazón y los vasos sanguíneos. La diabetes puede presentar síntomas característicos como sed, poliuria, visión borrosa, pérdida de peso y polifagia y, en sus formas más graves con cetoacidosis o hiperosmolaridad no cetósica que, en ausencia de un tratamiento eficaz, provocan estupor, coma y la muerte [1].

El pie diabético es uno de los problemas más frecuentes y devastadores de la Diabetes mellitus, casi siempre conlleva el riesgo de pérdida de la extremidad y sus complicaciones implican una hospitalización más prolongada. Una de cada cinco hospitalizaciones relacionadas a la diabetes son por problemas del pie y el riesgo de amputación en pacientes diabéticos, es 15 veces mayor que en caso de no existir la enfermedad. De las amputaciones no traumáticas, 50% son en pacientes diabéticos, la mitad de los afectados pierde la otra pierna en menos de cinco años. [2]

El origen de la enfermedad es multifactorial, esto quiere decir que suscita varias complicaciones, producto de neuropatías sensitivo-motoras, angiopatía, edema y afectación inmunológica casi siempre graves. La neuropatía motora, uno de los causantes del pie diabético, puede ocasionar deformidades en los pies, que conlleva el riesgo de aparición de úlceras. La pérdida de la inervación de la musculatura intrínseca del pie puede dar lugar a deformidades frecuentes del pie, tales como dedos en martillo, dedos en garra y metatarsianos en flexión plantar. [3]

La tecnología relacionada al tratamiento del pie diabético viene dada por varios procesos y dispositivos debido a su complejidad. Un modelo de utilidad relacionado a esto, es un dispositivo de cuidado de pie diabético, el cual a través de una fuente ultrasónica, produce un efecto de burbujas de cavitación acústica, de manera que los líquidos e ingredientes activos del tratamiento se absorben de forma más fácil a través de las heridas; esto también tiene efectos en el tejido sano, ya que protege a los vasos y nervios, coadyuvando a reducir el dolor del paciente.

2 | Metodología

El equipo biomédico se desarrolló en base a una metodología conocida como enfoque en prototipo, la cual se muestra en la Fig. 1. Esta metodología fue la que mejor se acopló al proyecto, ya que maneja una integración de componentes distribuidos. Consiste en que los componentes que realizan el trabajo sean actuadores, y estos son conectados uno a otro mediante señales digitales, gracias a los sistemas de comunicación [4].

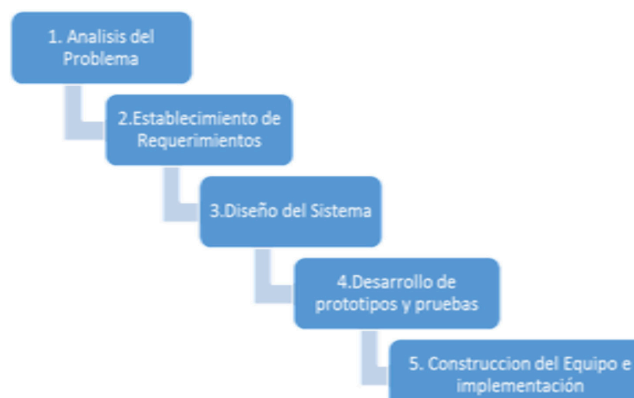


Fig. 1 Implementación del circuito y su socialización.

Esto permite controlar por medio de la comunicación electrónica, las señales por medio de las cuales los actuadores funcionan, dependiendo de la secuencia que haya sido seleccionada para que se ejecute el equipo biomédico.

2.1| Análisis del problema

Para poder desarrollar un proceso coadyuvante, que complemente el tratamiento dado al pie diabético, se concibió un método a través de movimientos rotacionales, que sirva para ayudar a la biomecánica del pie. Esto se basó en la literatura médica del pie diabético, atención integral de Fermín R. Martínez de Jesús, que habla sobre la importancia de la biomecánica en el pie diabético [2].

Para ser exitoso, este equipo debe cumplir con movimientos de carácter resistivo, para lo cual se utilizan sistemas mecánicos donde se presentan fuerzas opuestas al movimiento que realiza el paciente; dichas fuerzas pueden incrementarse gradualmente para mejorar la resistencia muscular. Por tanto, cada uno de los componentes mecánicos debe operar de manera específica en función del requerimiento del tratamiento coadyuvante [5]. Una vez establecido el método para tratar este punto específico de la enfermedad, se establecen los requerimientos técnicos que de forma necesaria debe satisfacer el equipo.

2.2| Establecimiento de los requerimientos del sistema [6]

El equipo debe ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Ejecutar movimientos que cumplan con las rotaciones tanto en el eje X, Y y Z, pausados y precisos; por lo que se requieren actuadores que cumplan con estas condiciones.
- Ejecutar diferentes secuencias de movimiento que sirvan como terapias coadyuvantes en el tratamiento integral.
- Disponer de una interfaz gráfica de fácil uso y manipulación.

2.3 | Diseño del sistema [7]

La arquitectura general del equipo biomédico [8]-[11] se muestra en la Fig. 2. El sistema se compone de un módulo de ingreso y almacenamiento de datos, la cual posee una unidad central donde se encuentra la pantalla TFT y la placa electrónica para control. En esta unidad se ejecuta el lazo de control para la selección de la secuencia que el equipo biomédico va a realizar y el control del tiempo que va a durar la sesión de rehabilitación; posee además, un sistema para almacenar los datos en una memoria SD que posteriormente podrán ser visualizarlos y a partir de ellos obtener reportes. Se dispone de 3 servomotores para el control del movimiento de las piezas mecánicas. Cada uno de estos servomotores está conectado a una placa de alimentación de potencia y esta a su vez conectado a la unidad central.



Fig. 2 Implementación del circuito y su socialización.

3 | Resultados

Los parámetros de selección de la tarjeta electrónica requeridos son: la velocidad máxima de reloj, capacidad de procesamiento, memoria interna y las características de los periféricos de comunicación. La tarjeta electrónica seleccionada para el desarrollo del sistema tiene la característica de que sus salidas son de 3.3V; esto ayuda de gran manera en el envío de datos y en la alimentación de la pantalla TFT, ya que este elemento es muy sensible a los voltajes y, un requisito para que la pantalla sea utilizada de forma adecuada, es trabajar con un voltaje de operación de 3.3 voltios.

La unidad central se compone de la pantalla TFT, el microprocesador, el módulo de potencia, su fuente de alimentación y el reloj en tiempo real. Esta unidad es la encargada de ejecutar las operaciones de enviar por medio de un tren de pulsos, el control a los respectivos servomotores para que realicen los movimientos de acuerdo con la literatura médica para poder desarrollar la respectiva rehabilitación. Esto se lo logra a través de señal PWM. El usuario puede seleccionar alguna de las secuencias establecidas de movimiento por el profesional médico, y establecer el tiempo que realizará la terapia. En la Fig. 3 se aprecia el diagrama de flujo de las operaciones del software.

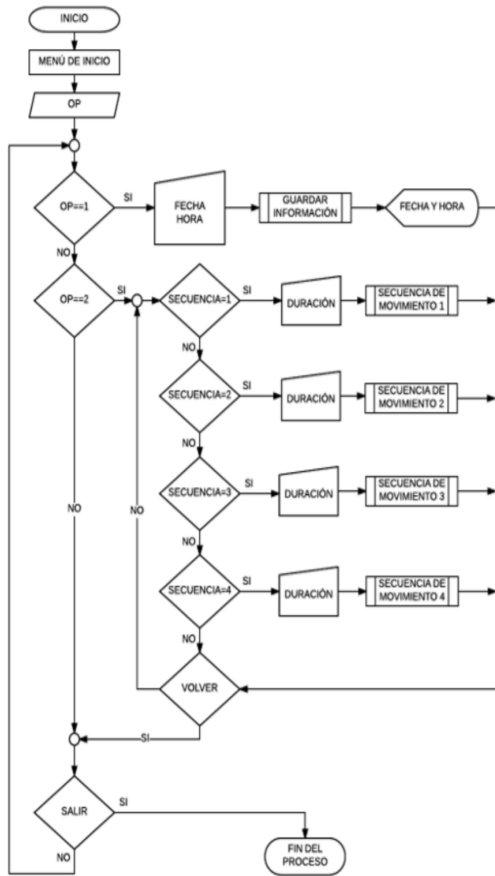


Fig. 3 Diagrama de flujo del algoritmo de la operación del equipo biomédico.

En relación con el diseño de las diferentes interfaces gráficas, se buscó facilidad de uso y eficiencia. La pantalla de inicialización muestra 3 opciones en las cuales el usuario, puede seleccionar para poder ingresar en las diferentes interfaces de funcionamiento del equipo (en la Fig.4 se presenta la interfaz gráfica principal).

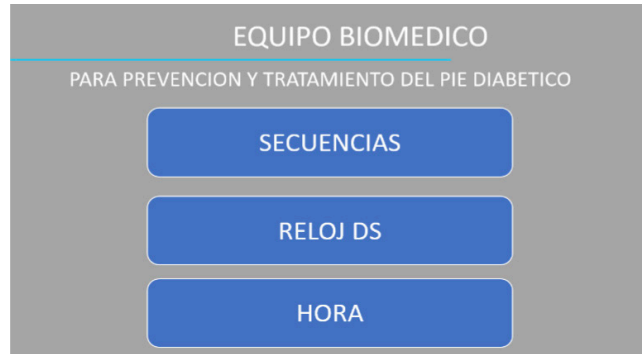


Fig. 4 Interfaz gráfica inicial del equipo biomédico.

Si se selecciona la opción de secuencias, se despliega una interfaz para poder seleccionar cual rehabilitación médica el equipo va a realizar.

Cada secuencia fue programada para realizar un determinado movimiento de rehabilitación. Los reportes de la actividad realizada en las diferentes secuencias quedan registrados en la memoria SD del módulo de almacenamiento, con los valores de tiempo establecidos por el reloj en tiempo real. En la Fig. 5 se aprecia esta interfaz.

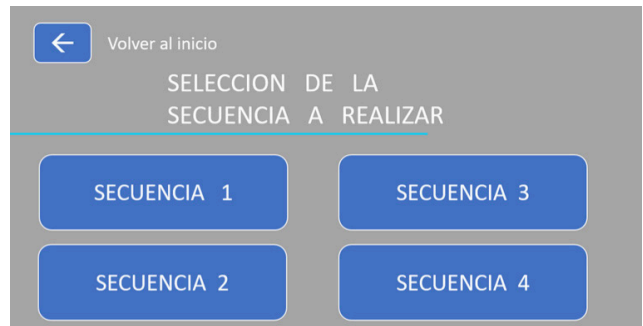


Fig. 5 Interfaz gráfica para selector de secuencias,

Si se escoge la opción de reloj DS, se muestra la interfaz gráfica con la leyenda SET CLOCK que permite ajustar la hora del reloj al tiempo real. Esto se aprecia en la Fig. 6.



Fig. 6 Interfaz gráfica para fijar el valor del reloj de tiempo real.

Existe también la posibilidad de visualizar la hora registrada en el equipo por medio de la opción hora.

Una vez que el equipo ha sido configurado y puesto en operación, este se detendrá una cuando haya finalizado la secuencia establecida. Sin embargo, es posible detener la operación del equipo en cualquier momento, por medio del botón de paro. La interfaz que contiene el botón de paro se presenta en la Fig. 7.



Fig. 7 Interfaz gráfica donde se muestra el botón de paro.

4| Desarrollo de prototipos

Se desarrolló un prototipo virtual que permite visualizar al rehabilitador del pie en conjunto con un riel, un sistema de tubos para fijar una posición en función del paciente y una silla de rehabilitación. En la Fig. 8 se puede observar el diseño del equipo biomédico completo en prototipo virtual.

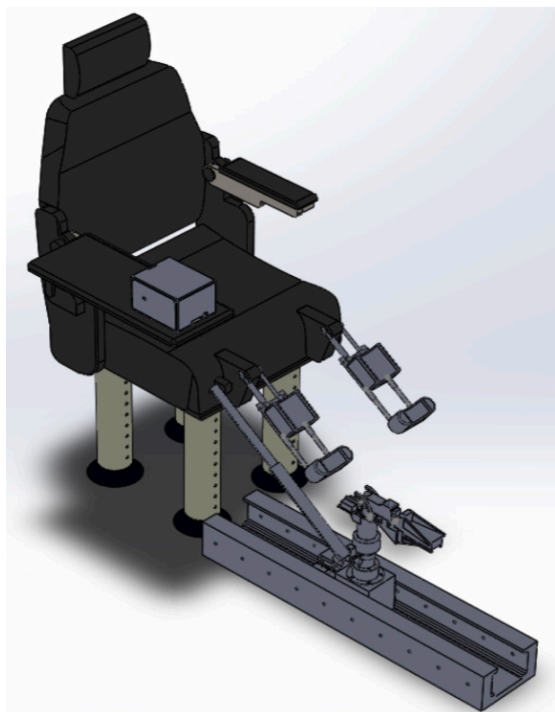


Fig. 8 Prototipo virtual completo.

El dispositivo actuador sobre el cual se fija el pie para que reciba terapia se indica en la Fig. 9.

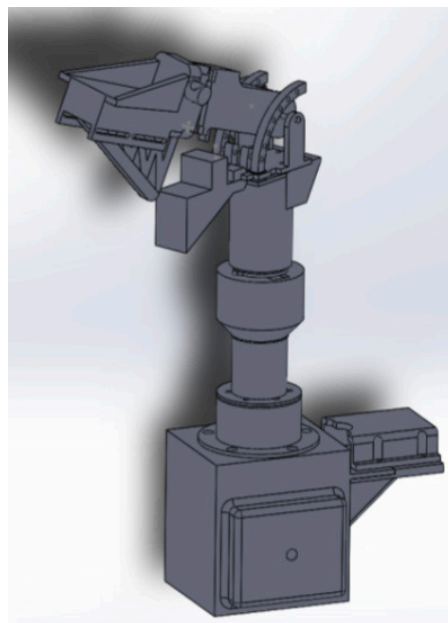


Fig. 9 Prototipo virtual del manipulador.

En base a este modelo se desarrolló el cálculo y dimensionamiento de las piezas para poder colocar el pie.

Se procedió a realizar simulaciones de los diferentes elementos mecánicos para verificar la validez de los criterios del diseño mecánico previamente desarrollados.

En la Fig. 10 se aprecia la intensidad de los esfuerzos a los que será sometida la pieza sobre la cual se asienta el pie, el color verde indica un mayor esfuerzo que en las zonas de color azul, sin embargo, de ello, dado que el factor de seguridad resultante es de 5.1, el manipulador puede operar sin riesgo a fallos.

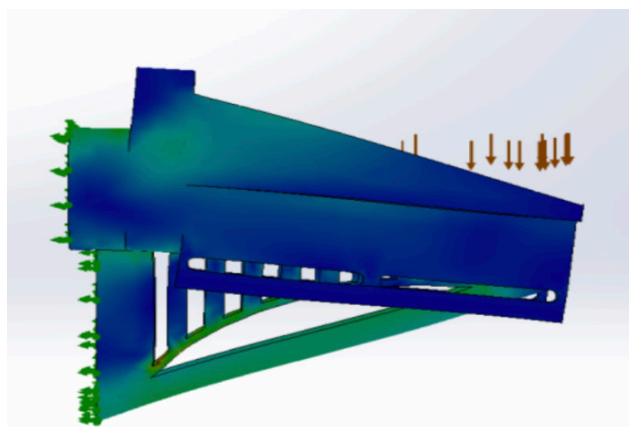


Fig. 10 Simulación del factor de seguridad de la pieza en la cual descansa el pie

Un análisis similar se realizó en la pieza que permite el giro respecto al eje vertical, el factor de seguridad en este caso fue de 6.64. En la Fig. 11, se aprecia la distribución de los esfuerzos mecánicos.

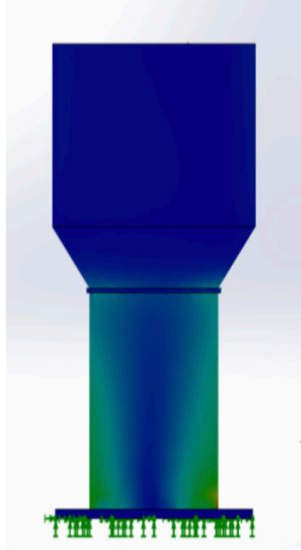


Fig. 11 Simulación del factor de seguridad de la estructura de base para la rotación respecto al eje vertical.

4.1 | Construcción del equipo e implementación

La Fig. 12 muestra el equipo biomédico para prevención y tratamiento del pie diabético construido de manera posterior a los procesos de diseño, prototipaje y pruebas. El rehabilitador está compuesto de una silla, la cual se acomoda en función de la ergonomía del paciente.

Cabe recalcar que el equipo biomédico es alimentado por una UPS, lo cual lo hace un equipo seguro en su operación, ya que brinda tiempo suficiente en caso de falla eléctrica para que el paciente retire el pie de la máquina o termine la secuencia.

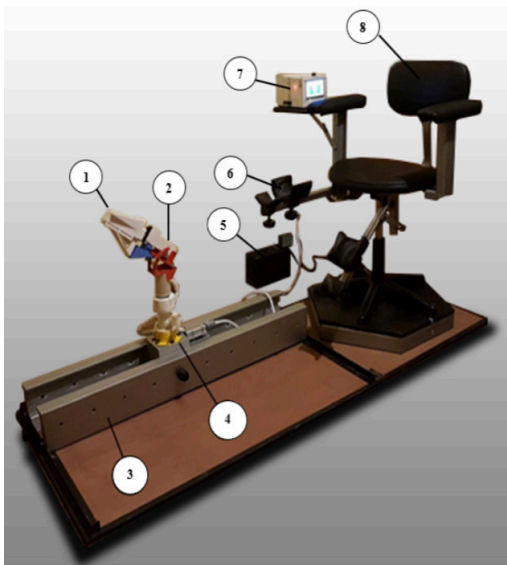


Fig. 12 Equipo coadyuvante para tratar el pie diabético.

La Fig. 13 indica de forma numérica cada uno de los elementos que conforma el equipo biomédico.

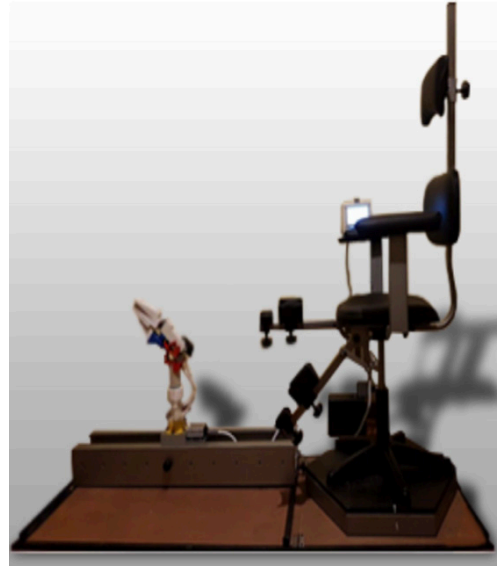


Fig. 13 Equipo coadyuvante para tratar el pie diabético

Los elementos actúan de la siguiente manera para obtener un comportamiento sinérgico.

1. **Pieza que sujeta al pie:** Elemento mecánico el cual está encargado de sujetar y albergar al pie diabético durante la rehabilitación.
2. **Rehabilitador:** Robot encargado de realizar los movimientos terapéuticos para la rehabilitación.
3. **Riel del robot:** es el medio en el que se desplaza linealmente, de forma bidireccional el tren que soporta al robot rehabilitador.
4. **Tren:** es el elemento que sirve para desplazar al robot rehabilitador, a través del riel.
5. **Sistema de alimentación ininterrumpida:** elemento encargado de suministrar energía eléctrica al equipo biomédico por tiempo limitado durante un apagón, al igual que cortar los picos eléctricos y mejorar la calidad de energía que llega a las cargas.
6. **Mecanismo para apoyar las pantorrillas:** elemento el cual sirve para albergar y sujetar las pantorrillas del paciente al momento de la rehabilitación, se pueden ajustar en función de la ergonomía del usuario.
7. **Sistema de control:** Unidad que interactúa con el usuario, por medio de la cual es posible seleccionar las diferentes secuencias de control, las cuales tienen la tecnología médica y sirven para el comando de los diferentes actuadores.
8. **Silla:** Elemento donde el usuario se sienta para utilizar el equipo biomédico está diseñada para acoplarse ergonómicamente al paciente.

5| Conclusiones

Con la utilización efectiva de métodos y técnicas de ingeniería fue posible desarrollar exitosamente un equipo mecatrónico coadyuvante para el tratamiento del pie diabético, cuya operación es segura y confiable, según los criterios de estabilidad, repetibilidad y posicionamiento, arrojados por la simulación inicial.

Referencias

[1] Proctor, J. E. (2007). Diabetes Mellitus. Barcelona: Lippincott Williams Wilkins

[2] Mantilla Guerra, A. R. (2017). Biomedical equipment for the control of nutrition and for the physical exercise of people with diabetes. Enfoque UTE, 8(1), pp. 92 - 106. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.138>

[3] FID. (2015). Atlas de la Diabetes de la FID (7ma ed.). Bruselas, Bélgica. Obtenido de <http://www.diabetesatlas.org/resources/2015-atlas.html>

[4] García Yanes, J. (2009). Tesis Doctoral. Relación entre el índice glucémico, carga glucémica y fibra con la resistencia a la insulina en la población canaria. Tenerife, España.

[5] IDF. (19 de Octubre de 2015). International Diabetes Federation. Obtenido de <http://www.idf.org/who-we-are>

[6] INEC. (27 de Octubre de 2014). Instituto Nacional de Estadística y Censos. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>

[7] Jesús, F. R. (2010). Pie Diabetico Atencion Integral. Mexico,D.F: Mc Graw Hill.

[8] Joslin. (10 de Julio de 2016). Diabetes and nutrition. Obtenido de http://www.joslin.org/info/how_does_fiber_affect_blood_glucose_levels.html

[9] Lineaysalud. (2009). Linea Y Salud. Obtenido de <http://www.lineaysalud.com/que-es/metabolismo-basal>

[10] Villarino. (09 de Octubre de 2016). Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación. Obtenido de <http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/antropometria/METABOLISMO%20ENERGETICO.VILLARINO.pdf>

[11] WHO, & FAO. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO Technical report series 916, 1-160.