

Diseño de una prótesis transtibial con módulo electrónico y GPS

Design of a transtibial prosthesis with electronic module and GPS

MsC. Oscar M.
Duque S¹⁻³

oduques@sena.edu.
co

MsC. Jair E.
Araujo²

jearaujo@sena.edu.c
o

Brannif Z.
Cañizalez G³

brannif.canizalez@unipamplona.edu.co

Jorge M. Ortiz³

jorge.ortiz2@unipa
mplona.edu.co

Jesus D.
Peñaloza C.³

jesusdavidpianista@
gmail.com

¹ ORCID 0000-0001-6246-604X, Centro CEDRUM, Grupo CEDRUM NDS-Regional N.D.S, Tecnoacademia Cúcuta, Cúcuta, Colombia

² ORCID 0000-0003-3869-950X, Centro CEDRUM, Grupo CEDRUM NDS-Regional N.D.S, Tecnoacademia Cúcuta, Cúcuta, Colombia

⁴ Universidad de Pamplona - Programa de Ingeniería Mecatrónica, Villa del Rosario, Colombia

Resumen: El presente artículo está relacionado con el proyecto de investigación, se presenta el desarrollo de una prótesis transtibial con módulo electrónico. Como primera etapa la construcción de este equipo se requirió iniciar con la búsqueda de información en diversas fuentes referentes a la robótica médica y el desarrollo de robots de rehabilitación, para seleccionar los elementos de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto, el trabajo se enfocó finalmente en la simulación de la extremidad inferior con módulo electrónico. La segunda etapa fue establecer el enfoque eléctrico y electrónico, que permitió la obtención de estos datos. Se usó como base la tarjeta de Arduino por su fiabilidad de uso en términos de tamaño, conexión con sensores, costo y demás aplicaciones.

Para lograr el objetivo y resultado final se recurrió a las diversas herramientas computacionales necesarias para su diseño, modelado y construcción simulada, que posteriormente permitió realizar la construcción del diseño final de la prótesis de extremidad inferior con módulo electrónico el cual se presentará en este trabajo.

Palabras Clave: Prótesis, Miembro Inferior, Amputación, Accidente, sensor

Abstract

This article, whose research project, presents the development of a transtibial prosthesis with an electronic module. As a first stage, the construction of this equipment was required to start with the search for information in various sources related to medical robotics and the development of rehabilitation robots, to select the elements of instrumentation, processing, visualization and materials necessary for the project, the work finally focused on the simulation of the lower limb with an electronic module. The second stage was to establish the electrical and electronic approach, which allowed obtaining these data. The Arduino board was used as a basis for its reliability of use in terms of size, connection with sensors and cost and other applications.

Finally, the data obtained throughout the work was organized, where the various computational tools necessary for its design, modeling and simulated construction were used, which later allowed to carry out the construction of the final design of the lower limb prosthesis with an electronic module. which will be presented in this work.

Keywords: Prosthesis, Lower Limb, Amputation, Accident, sensor

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad hay muchas personas que carecen de alguna de sus extremidades en el cuerpo debido a amputaciones por accidentes o debido a alguna malformación en la etapa de gestación que produce que la persona nazca así.

Colombia es un país con una población aproximada de 50.374.000 personas las cuales el censo 2018 del DANE captó a 2.624.898 las cuales el 6,1% (1.601.187) personas que refirieron tener alguna discapacidad relacionada[1].

En accidentes de trabajo en industria en el 2019 se atendieron a 40.982 de personas los cuales un promedio aproximado de 2.700 pacientes tuvo que ser amputadas sus extremidades inferiores [1].

En accidentes de tránsito en el 2019 se atendió a más de 5 millones de personas los cuales 1.290 pacientes tuvieron que ser amputadas sus extremidades inferiores [1].

En las prótesis convencionales generalmente trae un solo uso, que permite al usuario volver a tomar la marcha humana como lo solía hacer antes, pero a la hora de correr a altas velocidades no genera una optimización, debido a que puede lastimar o en ciertos casos dañarse por la fuerza generada.

En los últimos años la industria prostética ha experimentado un salto gigantesco en el desarrollo de elementos y mecanismos artificiales, que cumplen la misma función que las piernas humanas naturales, lo que les ha permitido ejecutar casi cualquier actividad a través de prótesis especializadas para distintas partes del cuerpo. Sin embargo, uno de los aspectos limitantes ha sido el costo de manufactura de estos elementos, el cual cada día se reduce progresivamente, con lo cual se posibilita que el acceso pueda ser masivo.

La evolución constante del diseño extremidades inferiores que se ha realizado en las últimas décadas ha permitido cada vez acercarse un poco más a la completa simulación del miembro humano como dispositivo mecánico, desarrollándose a lo largo de este trayecto técnicas cada vez más sofisticadas y precisas, dispositivos que reaccionan inmediatamente frente a súbitas fuerzas externas, y mecanismos cada vez más similares a las estructuras biológicas que componen una extremidad inferior humana promedio [2].

La aplicación de componentes electrónicos y tecnología al prototipo que se realizará se basa en las necesidades y acciones cotidianas. Insertando un panel electrónico de control en el que se pueda obtener información sobre la frecuencia cardíaca, pulso del usuario, estado del clima diario en llegado caso de que se vaya a utilizar para actividades deportivas, un sistema de GPS, recordatorios, y algunas funcionalidades más.

El elevado costo de los materiales para realizar una prótesis de pierna influye en la construcción, por ende, se planteó el uso de materiales con un menor valor comercial y que puedan brindar el mismo uso para la persona que lo necesite [3].

Sin duda el avance tecnológico que ha tenido el campo de desarrollo en extremidades inferiores ha sido enorme, lo cual ha permitido poco a poco adaptar sus innovaciones al desarrollo de prótesis de piernas robóticas, campo de investigación que en comparación en estos momentos se ha visto limitado por diversas factores tales como el tipo de uso que se le dará al dispositivo, el tamaño, peso y forma del mecanismo el cual cambia de persona a persona, o la complejidad del sistema de control y procesamiento de datos para generar una respuesta, y el factor más importante, la simulación de la respuesta sensitiva pérdida después de la amputación del miembro. Por esta razón en los últimos años se ha buscado atacar el problema desde un punto de vista del paciente más que de la solución de ingeniería que puede suponer el desarrollo de una extremidad inferior robótica. Ya que finalmente es el propio paciente el encargado de determinar que una prótesis de extremidad inferior sea adecuada para él o no [4].

Desde este punto de vista la simplificación de los diversos subsistemas que componen una pierna humana permite obtener diseños en los cuales la prótesis de extremidad inferior es bastante parecida al miembro perdido, sin que la complejidad que pueda resultar de adoptar esta solución sea alta, es decir el costo-beneficio entre las características que se pierdan al simplificar un dispositivo no deben de verse comprometidas por la complejidad del diseño del mismo.

II. METODOLOGÍA

Para la investigación del proyecto se utilizó el método empírico analítico ya que se profundizó en el estudio de los desarrollos que se han hecho sobre las prótesis, especialmente de extremidad inferior.

En la búsqueda de información pertinente a la marcha humana y demás procesos, a fin de lograr un entendimiento claro y preciso de lo relativo al movimiento del pie, utilizando fuentes bibliográficas científicas, hospitales donde se hayan tratado personas con amputaciones, artículos médicos, artículos científicos y proyectos o tesis donde el tema principal sea las prótesis de extremidad inferior [5].

Mahavir Kmina es un proyecto nace como iniciativa de un industrial antioqueño que anhela crear una fábrica de prótesis de piernas para víctimas de la violencia en Colombia la cual esta activa en el año en curso 2021.

Prótesis prosthesis leg 2021, universidad Nacional con el proyecto "Give me five" una organización sin ánimo de lucro ligada a la red e-NABLE enfocada en temas de biomecánica e impresión 3D, las diferentes prótesis que se realicen deben estar verificadas por profesionales de la salud, terapeutas, fisioterapeuta, fisiatra y colaboración de un profesional en psicología.

Para el desarrollo de la prótesis de extremidad inferior con módulo electrónico y GPS se clasificó mediante la realización de una matriz de selección el material de fibra de carbono el cual fue adquirido con otros materiales por medio de sus propiedades mecánicas [6].

Instrumentación con Fibra de Carbono - Quadcarbon.

Este material compuesto hecho con fibras sintéticas y varias resinas mantiene una baja densidad y gran resistencia para ser el ideal al momento del desarrollo de la prótesis y sus componentes [7].

Desarrollo Sensor DHT11 - Okystar Technology Co.

Este sensor de temperatura y humedad conocido como DHT11, fabricado por Okystar Technology Co. ideal debido a su calidad tanto funcional como de durabilidad y ergonomía ver Fig. 1.

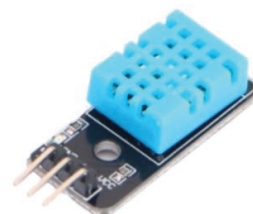


Figura No. 1: Sensor DHT11. Fuente: IEEE.ORG- retomada por Sigma electrónica

Desarrollo con Max30100 - Wearable Healt.

Este sensor de Pulso Cardíaco y medida de saturación de oxígeno conocido como Max30100, fabricado por Wearable Healt es ideal debido a su calidad tanto funcional como de durabilidad y ergonomía, ver Fig. 2 [8].



Figura No. 2: Max30100 Fuente: Components 101

Procesamiento – ARDUINO MEGA 2560

Para el procesamiento se escogió la Arduino Mega, dado que cuenta con los requerimientos de este proyecto adoptados por la matriz de selección ver Fig. 3.

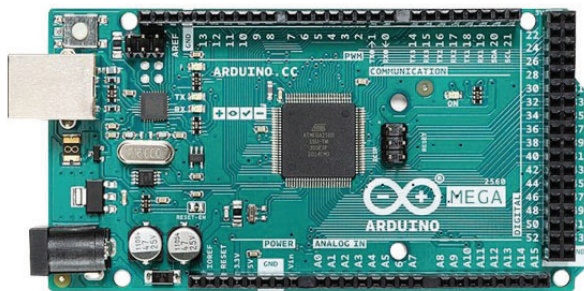


Figura No. 3: Arduino MEGA 2560

Visualización en Python se optó por seleccionar la interfaz de visualización para lo que se escogió el lenguaje de Python para diseñarla y realizarla de acuerdo a las exigencias requeridas.

Desarrollo del diseño de la prótesis en SolidWorks. Para el desarrollo del diseño de la prótesis se realizó en tres etapas, comenzando a diseñar el stock o encaje en primera estancia, seguido el pilar y por último el pie o apoyo de la prótesis.

En la creación del encaje (Ver Fig. 4.) se observaron varias dificultades una de las cual fue el tamaño del orificio de esta, pues por lo general las prótesis transtibiales se encajan por medio de la presión ejercida al apretar la pierna de la persona con esta. Se tomaron de referencia varios diseños hechos por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y la Tec, para las medidas de nuestra prótesis y así obtener un tamaño ideal para el usuario., dado que cada

prótesis se personaliza a las medidas morfológicas del paciente.

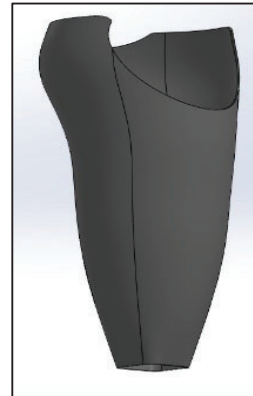


Figura No. 4: Socket o encaje. Fuente: Propia

El desarrollo del pilar (Ver Fig. 5.) fue un proceso más largo. En primera estancia se diseñó internamente el espacio para el actuador lineal que permitió el estiramiento de este para el ajuste de altura de la prótesis

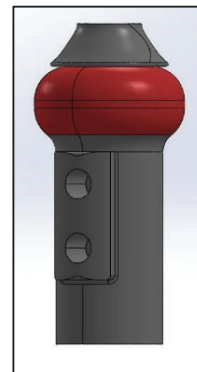


Figura No. 5: Pilar. Fuente: Propia

Diseñar el pie (Ver Fig. 6) este fue sometido a pruebas de impacto y presión para rectificar que el grosor y calidad del resorte fuera óptima para la marcha del usuario. El pie se encajaría por medio de dos tornillos al pilar, permitiéndole al poseedor retirarlo cuando desee y cambiarlo por un pie de tipo deportivo.

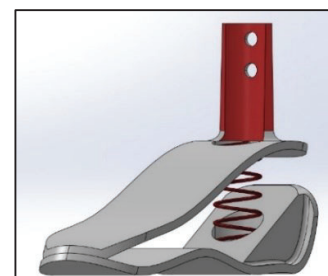


Figura No. 6: Pie. Fuente: Propia

Desarrollo del sistema esquemático de los circuitos de los sensores en Proteus 8.11.

Para el desarrollo de los circuitos se optó por el Software de Proteus 8.11 (Ver Fig. 7.) debido a que es bastante estable en sus últimas actualizaciones y contienen una amplia gama de componentes y funciones que permiten una mejor experiencia a la hora de realizar simulaciones de circuitos eléctricos y electrónicos.

Cabe resaltar la necesidad de añadir librerías complementarias para poder realizar con éxito todos los esquemas, como el caso del circuito del GPS, en donde se tuvo que implementar unas librerías de The Engineering Projects

Ya que para usar los módulos y servicios de Google Maps, es necesario obtener una licencia que permita el uso de este y mantienen un alto costo que no se cubre en el presupuesto del proyecto.

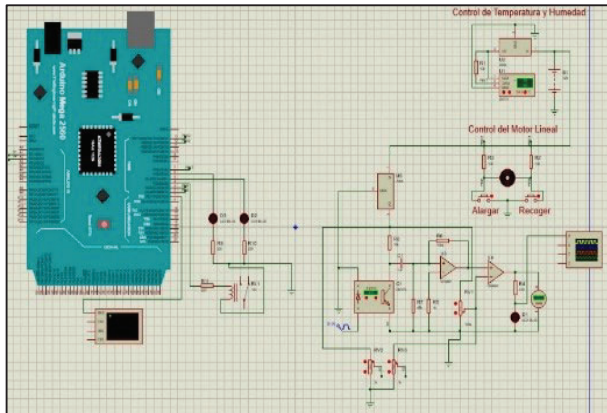


Figura No. 7: Esquema general de los sensores. Fuente: Propia

La creación del esquema del circuito del sensor DHT11 (Temperatura y Humedad) (Ver Fig. 8.) se realizó de la siguiente manera:

En primer lugar, como la fuente de alimentación que vamos a utilizar para todos los componentes de la prótesis es la GTK Lifepo4 (Ver Fig 9.) que maneja un voltaje de salida de 12V fue necesario recurrir a un regulador de voltaje, en este caso el Módulo LM7805 (Ver Imagen. 3.) que regula el voltaje a 5V, que es el voltaje necesario para la manipulación del sensor DHT11.

Para poder tener control sobre la temperatura leída y mostrarla en grados centígrados fue necesario realizar un

código de control en el sketch de Arduino. Para el porcentaje de humedad se hizo de la misma manera.

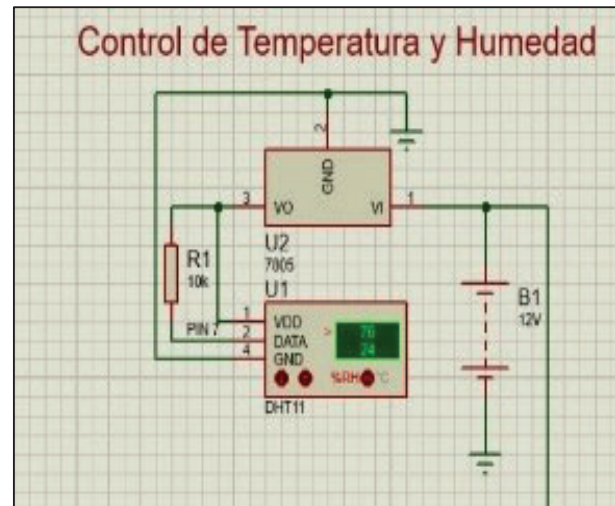


Figura No. 8: Esquema del circuito de control de temperatura y humedad. Fuente: Propia



Figura No. 9: Batería GTK Lifepo4 3.2v 25ah Fuente: Battery Hookup



Figura No. 10: Módulo LM7805. Fuente: Mactronica

Para el accionamiento de alargar o recoger el pilar (Ver Fig. 9) de la prótesis se usó un motor lineal (Ver Fig. 10)

De esta manera el método se estableció como análogo, debido a que debe ser accionado y ajustado por el portado de la prótesis.

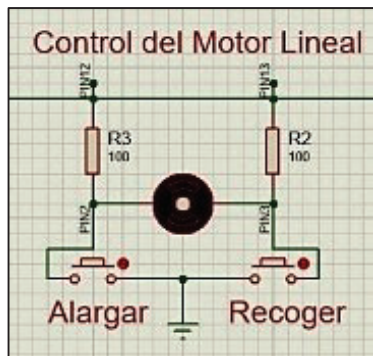


Figura No. 11: Esquema del circuito de control del motor lineal para el alargamiento o encogimiento de la prótesis. Fuente: Propia



Figura No. 12: Actuador lineal 12V DC 250mm. Fuente: Amazon.es

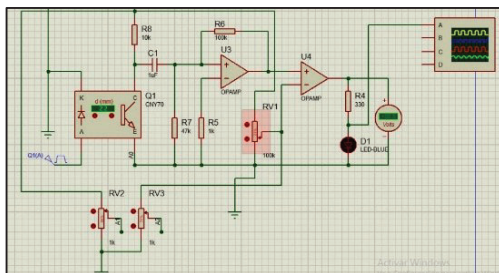


Figura No. 13: Esquema del circuito del sensor de pulso cardiaco. Fuente: Propia

Desarrollo de la PCB de los circuitos y su modelado en 3D.

El mismo software Proteus 8.11 nos permitió realizar el esquema del circuito en la PCB (Ver Fig. 14.), de una manera fácil y cómoda. Se construyó doble cara para evitar errores del enrutado y así diferencias los GND del V+.

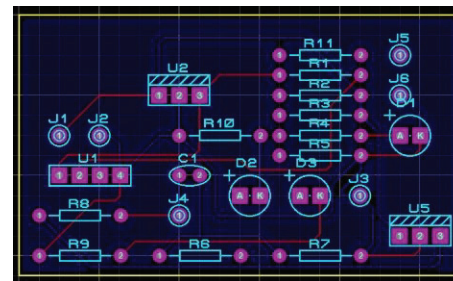


Figura No. 14: Esquema de la PCB del circuito general Fuente: Propia

El modelado 3D de la PCB (Ver Fig. 15) se hizo de manera correcta, incluyendo todos los componentes y sensores. Con un tamaño ideal de 12cm x 10cm.

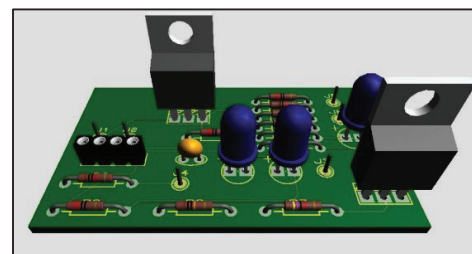


Figura No. 15: Modelado en 3D de la PCB vista superior. Fuente: Propia

La vista inferior (Ver Fig. 16) nos permite observar las líneas restantes de conexión y la posición de los componentes de una mejor manera.

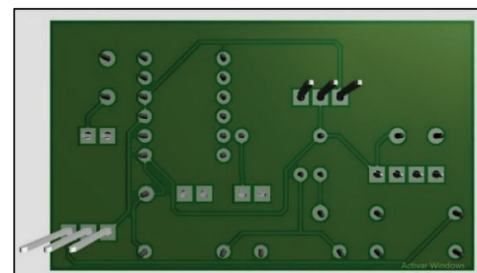


Figura No. 16: Modelado en 3D de la PCB vista inferior. Fuente: Propia

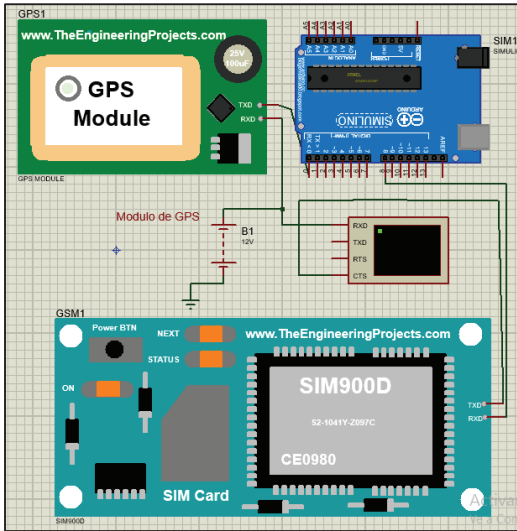


Figura No. 17: Esquema del Circuito del GPS. Fuente: Propia

Desarrollo de los códigos de programación en Arduino para el funcionamiento de los sensores.

Para una explicación más sencilla y entendible se realizaron los siguientes diagramas de flujo de los códigos de programación usados. El diseño integra el diagrama de flujo para sensor GPS (ver Fig. 17), y los diagrama de flujo para sensor de humedad y temperatura, sensor del ritmo cardiaco y sensor GPS (ver Fig 18, 19 y 20)

Sensor de temperatura y humedad

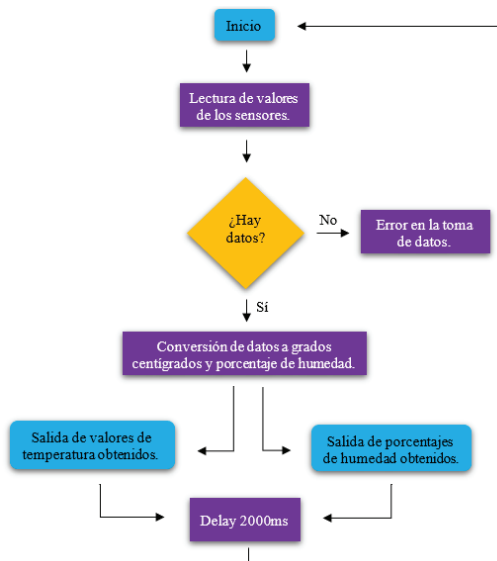


Figura No. 18: Diagrama de flujo para sensor de Temperatura y Humedad. Fuente: Propia

Sensor ritmo cardiaco

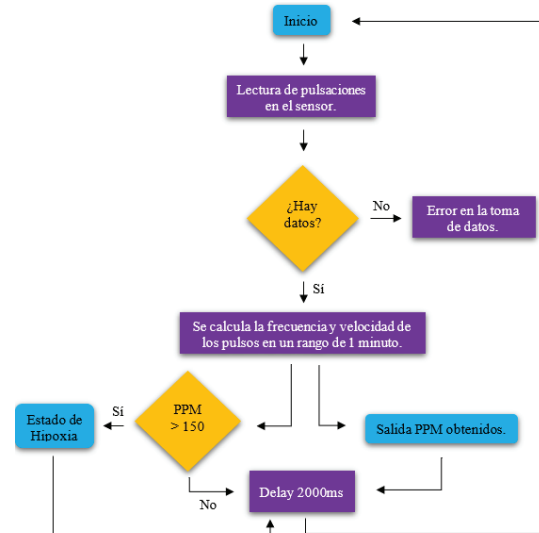


Figura No. 19: Diagrama de flujo para sensor del Ritmo Cardiaco. Fuente: Propia

GPS



Figura No. 20: Diagrama de flujo para sensor GPS. Fuente: Propia.

Desarrollo del espacio y cavidad para la inclusión de los circuitos en la prótesis en SolidWorks.

El diseño del gabinete (Ver Fig. 21.) es sencillo, simple y compacto, hecho exclusivamente para los componentes electrónicos, la batería y el Arduino. Así todo estaría en un

solo lugar y evitaría confusión si se necesita hacer algún cambio o reparación y no se encontrará lo que se busca.

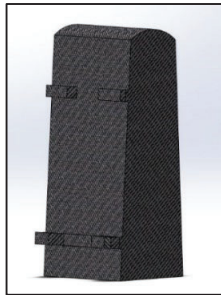


Figura No. 21: Gabinete contenedor de los componentes de Hardware. Fuente: Propia

El siguiente diseño (Ver Fig. 16.) es la simulación de una pantalla LED curva donde se mostraría la interfaz gráfica para el uso del módulo electrónico.



Figura No. 22: Diseño de la simulación de la pantalla LED curva en SolidWorks. Fuente: Propia

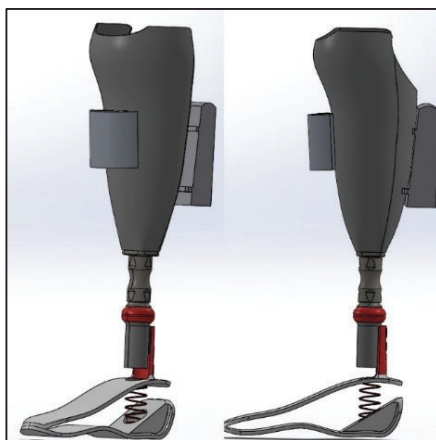


Figura No. 23: Ubicación de la pantalla y el gabinete. Fuente: Propia

La Interfaz Gráfica se realizó en lenguaje Python, permitiéndonos la conexión por medio del software Virtual Serial Port al Arduino y Proteus para realizar la muestra de

datos virtualmente. En la Fig. 23 se muestra la ubicación de la pantalla y el la Fig. 24 el diseño de la HMI.

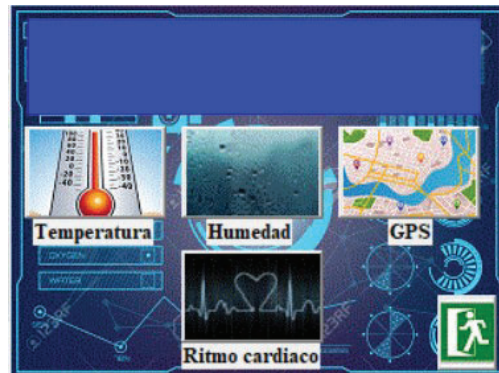


Figura No. 24: Diseño de la interfaz. Fuente: Propia.

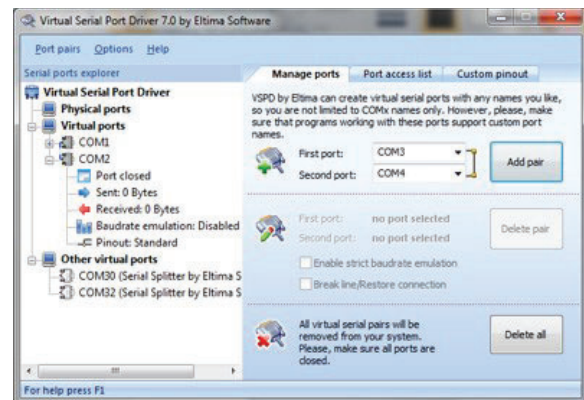


Figura No. 25: Interfaz virtual serial port. Fuente: Propia.

IV. RESULTADOS

Se constató que la biomecánica del caminar de una persona se puede replicar mediante sistemas mecánicos integrados por varios elementos y mecanismos, que se diseñan a partir de determinadas formas, tamaños y criterios de confort, que hacen que dichos sistemas sean adaptables a las necesidades particulares de cada persona. En este sentido, la ergonomía configura las características de los sistemas mecánicos utilizados para sustituir la función natural de una pierna humana.

El diseño es basa do en las características biológicas que requiere un pie normal, para que el paciente pueda sentirse cómodo con su imagen.

Se realizó el proceso de simulación del diseño de la prótesis de extremidad inferior con módulo electrónico y GPS humana con todos los parámetros requeridos tales como: peso, comodidad, durabilidad, fijación, funcionalidad, costos y fuente de energía.

Se realizó un estudio anatómico del cuerpo humano, en especial de los miembros inferiores y se concluyó que la prótesis debe soportar toda la carga de la persona al caminar.

Cuando se trata de realizar dispositivos que se acoplan al cuerpo humano, es importante tener conocimientos previos de anatomía, salud o alteración que puede tener una persona para fabricar cada componente con tal precisión que no afecte el bienestar del paciente.

Fue necesario hacer un análisis completo del mecanismo para predecir posibles fallas del dispositivo mediante simulaciones y así evitar accidentes en el paciente.

REFERENCIAS

- [1] Gutiérrez García (2017) Proyecto de grado, diseño y simulación de prótesis de pie
- [2] M. de S. Minsalud, "SISPRO (Sistema Integral de Información de la Protección Social), Informe de Consulta por Traumatismos de Rodilla, Pierna, Tobillo y Pie," 7, 2016. [Online]. Available: [http://www.sispro.gov.co/Pages/Contruya Su Consulta/Prestaciones.aspx](http://www.sispro.gov.co/Pages/Contruya%20Su%20Consulta/Prestaciones.aspx). [Accessed: 19-abril-2021].
- [3] L. E. Ramírez, Guía de Práctica Clínica para el diagnóstico y tratamiento preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio de la persona amputada, la prescripción de la prótesis y la rehabilitación integral., no. 55. 2014.
- [4] OTTOBOCK, "Foot for water resistant prosthesis | Feet | Lower Limb Prosthetics | Prosthetics | Ottobock US Healthcare." [Online]. Available: <https://professionals.ottobockus.com/Prosthetics/Lower-Limb-Prosthetics/Feet/Foot-for-water-resistant-prosthesis/p/1WR95>. [Accessed: 13-abril-2021].
- [5] A. M. Espejo Mora, "Construcción de un prototipo final de pie para prótesis transfemoral," UNIVERSIDAD DE LA SALLE, 2007.
- [6] Patente dispositivo crewolprint3d, "CRE-004 Cryptic Pattern Leg Prosthesis - Huced Despro ITS by crewolprint3d - Thingiverse," 2018. [Online]. Available: <https://makerware.thingiverse.com/thing:2754691>. [Accessed: 15-abril-2021].
- [7] Give me five, "coprinte3d | Nosotros/About Us." [Online]. Available: <http://casilvaca.wixsite.com/coprinte3d/copia-de-home>. [Accessed: 24-Marz-2021].
- [8] D. C. Guerrero Moreno, "Diseño de piezas complementarias para mejorar la apariencia de prótesis transtibiales que brinden confianza, protección y confort en las personas amputadas cuando se someten a la exposición en situaciones cotidianas," UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PEREIRA FACULTAD, 2013.
- [9] González, M., Cohí, O., and Salinas, F., Amputación de Extremidad Inferior y Discapacidad. Barcelona, 2005.
- [10] Maya, A., Guerrero, E., and Ramírez, J., "Parámetros de diseño de una Prótesis de Rodilla en Colombia," IV Lat. Am. Congr. Biomed. Eng. 2007, Bioeng. Solut. Lat. Am. Heal., vol. 18, p. 770–773, 2007.
- [11] International Diabetes Federation, Atlas de la diabetes de la FID. 2015.
- [12] Cisneros, N. et al., "Índice De Amputaciones De Extremidades Inferiores En Pacientes Con Diabetes," Rev. del Inst. Mex. del Seguro Soc., vol. 54, no. 4, p. 472–479, 2016.
- [13] INEGI, "Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas," 2017. [Online]. [Fecha de acceso: 05-Nov-2017]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/transporte/accidentes.asp?>
- [14] Reswick, J., "What is Rehabilitation Engineering? In: Robinson, C.J., What is Rehabilitation Engineering?," IEEE Trans. Rehabil. Eng. USA CRC Press, vol. 1, p. 1, 1993.
- [15] NIH, "Rehabilitation Engineering," 2016. [Online]. [Fecha de acceso: 05-Nov-2016]. Disponible en: <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/rehabilitationengineering>.