

Plataforma de Rehabilitación Locomotora Integrada

**con un sistema Neuro-Difuso
Adaptable para el control y
transmisión de señales
biomédicas**

Por: **Avila Barón Adolfo**
Facultad de Ingeniería Electrónica
Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, Colombia

RESUMEN: — La estabilidad en la condición física de jóvenes y adultos juega un papel importante en el futuro la sociedad, sin embargo con la disminución de la natalidad reportado por el diario el espectador en el artículo “Colombia, un país camino al envejecimiento”, el cual muestra un estudio estadístico que revela la disminución de la natalidad en los últimos años, cada día aumenta también el número de pacientes adultos mayores con problemas en el estado físico y especialmente en la locomoción, este hecho hace que se incrementen los costos para la atención médica especializada, así mismo, se crea la necesidad de personal y equipo especializado para la realización de terapia física, por lo tanto, es conveniente proponer un acercamiento de los pacientes a la tele-rehabilitación para guiar el tratamiento con ortopedistas y cardiólogos. Una plataforma de rehabilitación locomotora tele comunicada supervisa y controla durante tiempos de permanencia prologada, la salud y el estado físico humano, así, en forma remota y en tiempo real, es posible realizar cambios en la rutinas de rehabilitación y obtener una base de datos que revele el seguimiento a la salud del paciente.

PALABRAS CLAVE— Plataforma, Tele comunicación, rehabilitación, algoritmo.

ABSTRACT— The stability in the physical condition of young and adults people plays an important role in the society future, nevertheless with the birthrate in decrease, according to the magazine “Colombia a country road to aging”, which reveals this study, showing the low birth rate number, thus each day will be increase the number of patients with physical condition problems, especially in the locomotion, this fact does that medical specialized personnel be insufficient, despite efforts for the therapy treatment accomplishment, rehabilitation spaces are insufficient or inadequate. Therefore, it is suitable to propose a patients Tele - rehabilitation approximation to guide the treatment with orthopedists and cardiologists. A locomotive rehabilitation platform with communication supervises and controls during prefaced times, the health and the human physical condition, thus, in remote and real time form, it is possible to do changes in the rehabilitation cycles and obtain a historical database of each patient.

KEYWORDS— platform, tele communication, rehabilitation, supervision, algorithm.

I INTRODUCCIÓN

El uso del diseño electrónico junto con las tecnologías de la información, asociadas y enfocadas hacia el área de la salud han brindado resultados sorprendentes, a tal punto que hoy en día se rompe el paradigma de la presencia obligatoria del médico cirujano en el desarrollo de procedimientos quirúrgicos y por el contrario, con el avance de la ingeniería, cuando se realizan cirugías de alta precisión, se confía más en los logros realizados por sistemas robóticos, ante tal realidad se generan cuestionamientos sobre el futuro tecnológico de las áreas de la salud a nivel mundial y por ende a nivel nacional y regional. En Colombia el uso de la telemedicina en el sentido más amplio, es una de las prácticas que cada vez toma fuerza en comentarios cotidianos de los ciudadanos, aspectos como los procesos de diagnósticos mínimamente invasivos, el aumento del auto-cuidado favorecen los procesos de la medicina ambulatoria y los cuidados teledirigidos.

Los aspectos centrales del avance científico de la telemedicina en nuestra región, como todos los adelantos en el mundo, son causa de polémica, pero siempre hay un punto de partida por el cual emprender el desarrollo científico tecnológico. El cuestionamiento sobre el número de adultos mayores en ciudades como Tunja y su crecimiento futuro nos plantea el reto de generar adelantos científico tecnológicos que brinden calidad de vida y longevidad, es así como la concepción del diseño de una plataforma de rehabilitación locomotora hace parte de gran número de inventos científicos que pueden contribuir a tal función. La medida de parámetros de marcha, ritmo cardiaco y en general todas aquellas que hacen estable a un paciente cuando realiza la actividad de locomoción, puede ser objeto de estudio, con la finalidad de detectar patologías que en el cotidiano vivir son imperceptibles. Tomar muestras de la marcha y de biopotenciales como el ECG o EMG de diferentes pacientes adultos mayores, lograr su posterior transmisión de datos para el análisis de expertos, y retornar una señal de control que actúe en forma segura a través de un software inteligente en tiempo real, funciones que hacen de este proyecto un reto para el avance científico en esta y otras áreas especializadas de la salud humana.

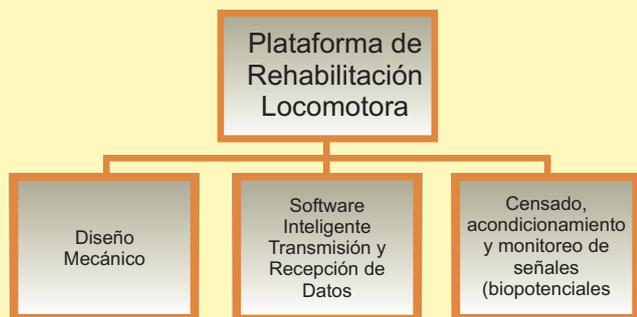
El diseño y la implementación de una plataforma de rehabilitación de miembros inferiores, la cual contiene un sistema de control neuro-difuso, nos permite complementar el estudio de los diferentes patrones de marcha. Inicialmente se han tomado datos de algunos parámetros de la marcha, tales como: fases y determinantes, retracciones musculares de miembro inferior, postura, longitud de los miembros inferiores real y aparente en centímetros, longitud del paso. Las dimensiones de la plataforma están ajustadas a las medidas generadas por los datos obtenidos en la marcha de adultos mayores,

dejando la posibilidad abierta de una rápida adecuación espacial para otro tipo de usuarios y el posterior desarrollo de un software inteligente “neuronal-difuso” adaptable.

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA INTEGRADO DE LA PLATAFORMA

Las señales biomédicas son registros espaciales y temporales de la actividad eléctrica, electromagnética o química producida por los órganos. Obtenerlas y adecuarlas para que puedan ser transmitidas de forma apropiada y sin pérdida en la información, es un reto al que los ingenieros relacionados con esta actividad estamos enfrentando, especialmente cuando de ello depende una vida humana. El alcance que puede tener la confiabilidad en la información hace posible que en forma remota se controlen sistemas físicos de grandes dimensiones, tales como sistemas robóticos, de manufactura, de perforación, etc., pero es especial cuando se trata de guiar una plataforma de rehabilitación en la locomoción de personas, y más aun cuando esta es de telemando o teledirigida. La exigencia del diseño mecánico, informático y electrónico deben conjugarse para garantizar seguridad y confiabilidad, además deben aportar las características de comodidad y facilidad de manejo para el usuario final y para quien asiste al paciente. En el diagrama de la Figura 1, se puede ver cada una de las fases consideradas dentro del diseño.

FIGURA 1.- Diagrama general del sistema de rehabilitación locomotora



Fuente: Autor del proyecto

III. DISEÑO DE PLATAFORMA DE REHABILITACIÓN LOCOMOTORA

La generación del primer prototipo de plataforma de locomoción con supervisión teledirigida en Boyacá, ha sido diseñada teniendo en cuenta la adquisición de datos reales obtenidos con adultos mayores de la ciudad de Tunja, con esta muestra pueden verse los datos correspondientes a las fases y determinantes de la marcha, retracciones musculares de miembro inferior, postura, longitud de los miembros inferiores real y aparente en centímetros, también la longitud del paso.

FIGURA 2.- Plataforma de rehabilitación



En la figura 2, se observa una caminadora de rehabilitación de la marcha. En este diseño se construyen dos barras paralelas verticales, unidas por un marco de soporte con apoyos angulares, el paciente es sostenido justamente en el medio de dicho soporte. Este sistema permite el completo y adecuado sostén del paciente. La estructura que se propone cuenta con importantes cambios tales como la posibilidad de desmontar las barras paralelas verticales, esto reduce el riesgo de colisión y aumenta el campo visual del paciente.

Empezaremos por considerar cada una de las variables representativas para un diseño ergonómico y funcional de la plataforma: la longitud del paso, la postura y los aspectos psicológicos que pueden causar stress en el paciente.



Fuente: <http://aemedi.es>

Diferentes institutos de investigación y empresas comerciales alrededor del mundo, tales como AEMEDI o ALTACRO, ver la Figura 2, han diseñado su propio modelo de plataforma de rehabilitación, pero algunas trabajan con escaladoras u otros mecanismos similares, en general, las consideraciones para dicho diseño son las que hacen la diferencia sobre la implementación. Para nuestro diseño la altura de la plataforma es de 2,10 m y en el diseño interior se tienen en cuenta las variables mencionadas a continuación.

A. Longitud del paso

Tomando la distancia lineal en metros entre dos eventos, iguales y sucesivos de la misma extremidad, generalmente esta medición se selecciona con el contacto inicial de una extremidad hasta el próximo contacto

inicial de la misma extremidad. La longitud del paso incluye un paso corto derecho e izquierdo.

TABLA 1.- MEDIDAS EN LA MARCHA.

No	LMIR	LMIA	LP
Am1	85	79	86
Am2	78	67	83
Am3	86	80	79
Am4	79	77	76
Am5	81	80	77
Am6	75	73	78
Am7	76	73	79
Am8	77	72	69
Am9	82	76	80
Am10	78	73	77
Am11	79	75	74
Am12	77	74	76
Am13	78	75	80
Am14	66	63	86
Am15	84	80	83
Promedio	79	74	79

LMIR = Longitud de Miembros Inferiores Real cm

LMIA= Longitud de Miembros Inferiores Aparente cm

LP = Longitud del paso cm

Am=Adulto mayor

Las muestras de la Tabla 1, son tomadas en adultos mayores en condiciones de marcha normal, ver la Figura 3.

FIGURA 3.- Marcha en el adulto mayor



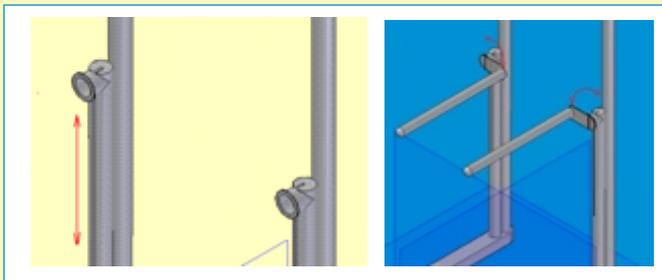
Fuente: copacabana.gov.co

En la Tabla 1, se relaciona el listado de 15 adultos mayores de un total de 28 entre hombres y mujeres, sobre esta muestra se realiza la toma de datos de cada uno de los parámetros que determinaron el diseño de la plataforma de rehabilitación. El promedio de la longitud de los miembros inferiores de los adultos mayores fue de 79 cm. Con este valor se determina la medida máxima y mínima de los apoyos de la base y altura máxima de la plataforma 2,10 m.

B. Altura del apoyo de mano

De acuerdo con la evaluación del tipo de rehabilitación del paciente, las medidas para el apoyo del paciente son diferentes, pero los rangos obtenidos muestran que las variaciones no son superiores a 25 cm, por esto se ha propuesto un apoyo de mano con dos grados de libertad tal como se muestra en la Figura 4, se puede observar que la altura de apoyo cuenta con una estructura de ajuste en el desplazamiento vertical de hasta 50 cm, distancia interior medida desde las barras paralelas hasta las manos del paciente. Estos apoyos o barras paralelas han sido mejorados al agregar otro grado de libertad en el movimiento, compuesto principalmente por una ranura circular o base de de giro circular.

FIGURA 4.- Base de los soportes laterales



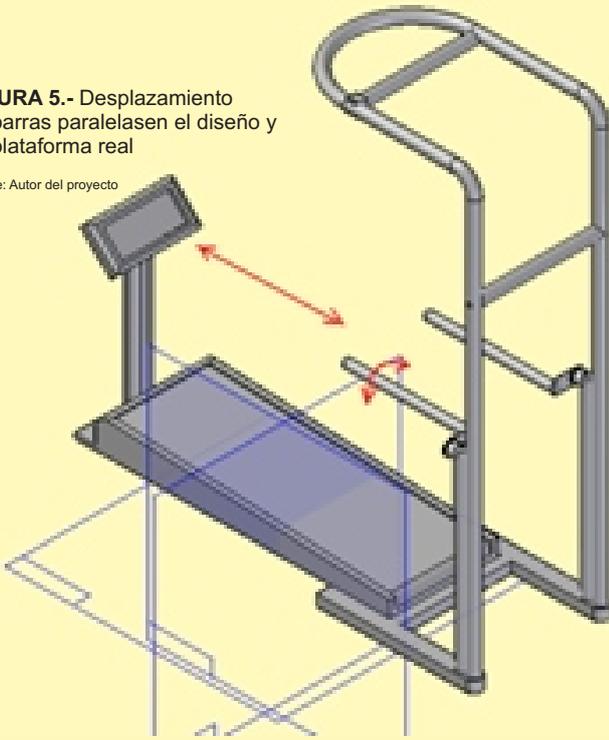
Fuente: Autor del proyecto

Para disminuir cualquier riesgo de colisión, se suspende el paciente “persona mayor” de un arnés, sistema que permite realizar diferentes pruebas de apoyo sobre el piso. En la Figura 5, se muestra el soporte superior el cual contiene una barra horizontal para el arnés.

La longitud promedio del paso de 79 cm, (ver tabla1), determina la distancia que hay desde el punto medio que sostiene el arnés del paciente y el extremo del tablero de control.

FIGURA 5.- Desplazamiento de barras paralelas en el diseño y en plataforma real

Fuente: Autor del proyecto



C. Campo de acción de la marcha.

En la tabla 2, se describen cualitativamente los determinantes que pueden incidir en la ergonomía del diseño de la plataforma, movimiento de la cintura pélvica escapular, balanceo de brazos, base de sustentación, simetría de hombros, factores que se deben tener en cuenta al realizar la marcha sobre la caminadora.

Con la medida del radio movimiento del paciente 70 cm, el ancho máximo y mínimo en los soportes laterales fue calculado entre 80 a 90 cm, ver Figura 5.

TABLA 2.- DETERMINANTES EN LA MARCHA

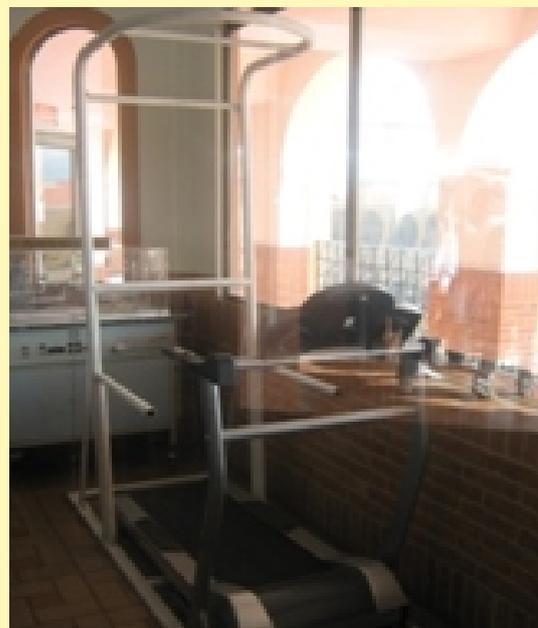
No	FASES	DETERMINANTES
Am1	Npe	Base de sustentación aumentada, pobre balanceo de brazos,
Am2	Npe	Pobre discriminación de cintura pélvica y escapular
Am3	Npe	Aumento de la Base de Sustentación, descenso de hombro izquierdo
Am4	Npe	Pobre discriminación de cintura escapular y pélvica
Am5	Npe	Buena relación tobillo pie, presenta discriminación de cintura escapular y pélvica
Am6	Lpc	Pobre discriminación de cintura escapular
Am7	Npe	Base de sustentación aumentada, pobre balanceo de brazos,
Am8	Npe	Pobre discriminación de cintura pélvica y escapular
Am9	Npe	Aumento de la Base de sustentación, descenso de hombro izquierdo
Am10	Npe	Pobre discriminación de cintura escapular y pélvica
Am11	Npe	Buena relación tobillo pie, presenta discriminación de cintura escapular y pélvica
Am12	Lpc	Pobre discriminación de cintura escapular
Am13	Npe	Base de Sustentación aumentada, pobre balanceo de brazos,
Am14	Npe	Pobre discriminación de cintura pélvica y escapular
Am15	Npe	Aumento de la Base de Sustentación, descenso de hombro izquierdo

Am = Adulto mayor

Npe = Normal para la edad.

Lpc = Longitud de paso corto

El diseño completo de ensamble caminadora y soporte se muestra en la Figura 5. El ajuste de la distancia de la caminadora a la base tiene diferentes posiciones que pueden ser modificadas de acuerdo a la necesidad del usuario.

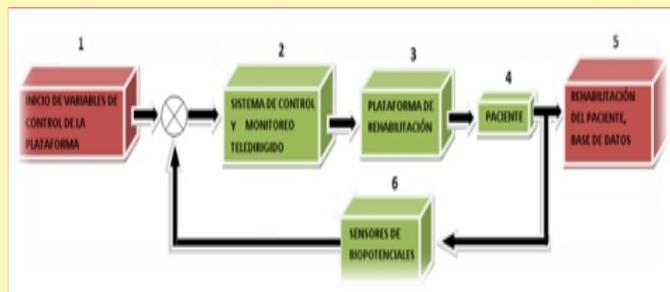


Se completa de esta forma el esquema general de la plataforma de rehabilitación, con las características deseadas de ergonomía y funcionalidad.

IV. SISTEMA DE CONTROL NEURODIFUSO

La plataforma de rehabilitación es una unidad compleja con un módulo de control, ver bloque dos de la Figura 6, el cual lleva inmerso el software encargado de integrar cada una de las unidades conexas a él, por medio de interfaces con los bio-potenciales, amplificadores operacionales y unidades de telemando. Comprender la importancia de este módulo como su ubicación y funcionalidad dentro del esquema general, determina la necesidad del diseño de algoritmos de control con la complejidad suficiente para que cumplan con la función de brindar la estabilidad al sistema. La existencia de múltiples entradas y múltiples salidas hacen de este sistema, un sistema tipo MIMO, el cual en el ámbito del control electrónico es caracterizado por el empleo de herramientas matemáticas y computacionales de alto rendimiento, robustez y flexibilidad propias de los algoritmos difusos y las redes neuronales.

FIGURA 6.-Diagrama de bloques del sistema del control de la plataforma de rehabilitación locomotora



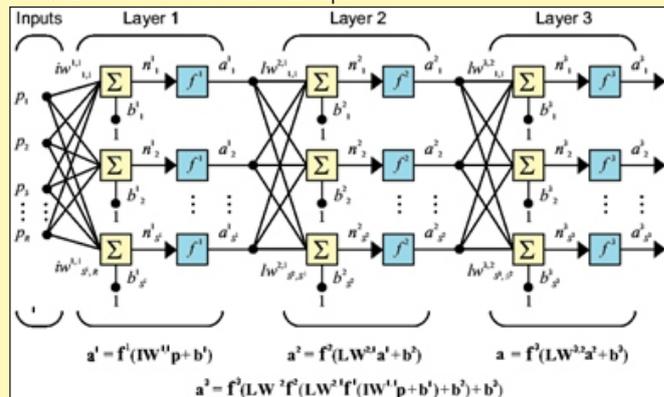
Fuente: Autor del proyecto

A. Redes neuronales BackPropagation y sistemas adaptables

En mediados de los años 80 el algoritmo Backpropagation “propagación hacia atrás” conocido por la propagación inversa, fue retomado y probado exitosamente por varios investigadores, David Rumelhart, Geoffrey Hinton y Ronal, Williams, David Parker y Yann Le Cun. El algoritmo se popularizó cuando fue incluido en el libro “Parallel Distributed Processing Group” por los sicólogos David, Rumelhart y James McClelland. Desde que fueron conocidos estos avances en el uso de este tipo de redes neuronales tomó auge la aplicación de la topología Backpropagation red frecuentemente utilizada en diferentes proyectos hasta el día de hoy. En la Figura 7, se muestra una red multicapa con las variables para la generación de algoritmos Backpropagation. Los controles adaptables en tiempo real usando redes neuronales y algoritmos difusos mejoran el funcionamiento de los sistemas a controlar, de tal forma que un

sistema puede llegar a cambiar sus parámetros de trabajo teniendo como base una experiencia de información anterior, equivalente en el lenguaje cotidiano a la “experiencia por conocimiento”. ANFIS es una interfaz desarrollada por MATLAB con este tipo de herramientas.

FIGURA 7.- Red neuronal multicapa



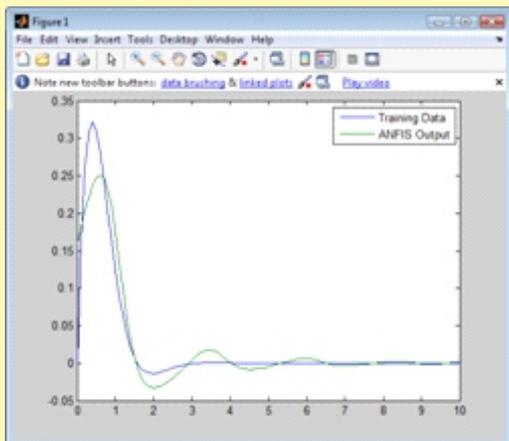
Fuente: MATLAB

B. Software de desarrollo ANFIS del sistema neuro difuso adaptable

El método de aprendizaje neuro-adaptativa funciona de manera similar a la de las redes neuronales biológicas. Las técnicas de aprendizaje adaptativo neuronal, proporcionan un método sobre el desarrollo de modelado difuso para saber la información sobre un conjunto de datos, variables de entrada y salida, que en el diseño de la plataforma ya son conocidos. La herramienta de lógica difusa “Fuzzy logic Toolbox” calcula los parámetros de función de pertenencia que mejor permitir que el sistema de inferencia seguir la entrada y salida de datos que ha sido proporcionada. La función de Lógica Difusa que cumple la función de pertenencia y ajuste de parámetros se llama ANFIS “Inferencia de Sistema de Adaptación Neuro Difusa”. La función de ANFIS es accesible desde la línea de comandos o a través del editor de la “Interfaz Gráfica de Usuario” GUI de MATLAB.

El conjunto de variables de entrada y salida de datos de la plataforma de rehabilitación teledirigida es tratada como el conjunto de trabajo de ANFIS, el cual crea un sistema de inferencia difuso (FIS), cuyos miembros la función parámetros se afinan (ajustan) usando un algoritmo de propagación hacia atrás Backpropagation solamente o en combinación con otro algoritmo denominado LS “Least Square”, este ajuste permite que los sistemas difusos compilen los datos que se están modelado y adapten el funcionamiento de las variables de salida o realicen un seguimiento, en la Figura 8 se puede observar dos tipos de medidas con diferentes coeficientes de amortiguamiento, la primera “trainig data” es una medida real y la segunda “Output” es el seguimiento que hace ANFIS.

FIGURA 8.- ANFIS en la GUI de MATLAB para el control de la parada del motor de la plataforma



Fuente: Autor del proyecto

Sobre la implementación la plataforma de rehabilitación se toman se registran las variables que permiten el control del sistema como una sola unidad, en la Figura 9, se observa el sistema integrado. Las variables de control del algoritmo neurodifuso están definidas como:

- 1) Variables de entrada
 - Angulo de Balanceo (izquierda, derecha)
 - Angulo de desviación (adelante, atrás)
 - Pasos por minuto
 - Ritmo cardiaco
- 2) Variables de salida
 - Velocidad de la caminadora
 - Fuerza de apoyo

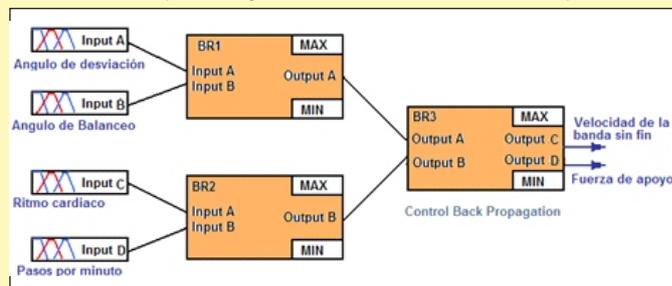


FIGURA 9. Plataforma de Rehabilitación integrada con el sistema de monitoreo.

Fuente: Autor del proyecto

La velocidad de la banda sinfín y la fuerza de apoyo sobre esta banda, representan algunas de las salidas del sistema neurodifuso tal como se observa en la figura 10, la forma de cada conjunto difuso que determinan dicha salida es de tipo trapezoidal y a red neuronal implementada de tipo Backpropagation, topología que responde exitosamente al entrenamiento realizado con ANFIS, la base de datos ha sido tomada de la tabla 1 y las variables experimentales tomadas de la simulación dinámica del diseño de la plataforma.

FIGURA 10. Esquema lógico del sistema neuro difuso adaptable

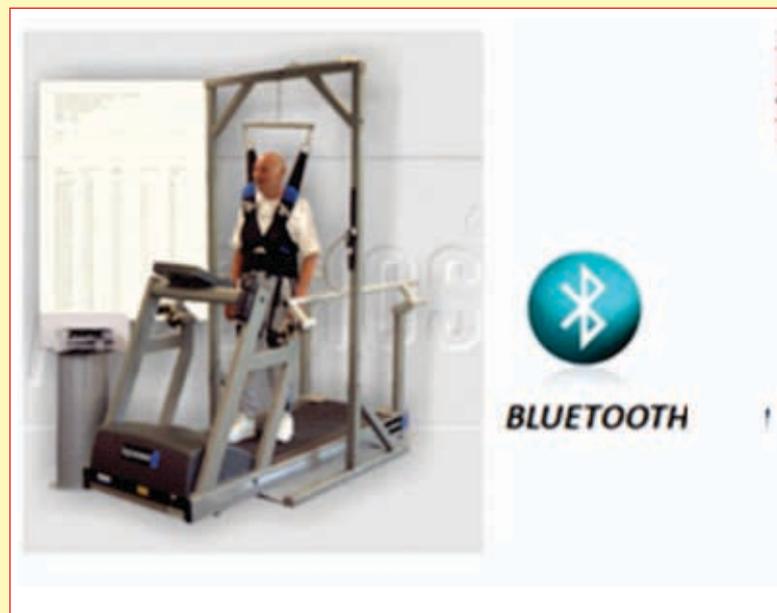


Fuente: Autor del proyecto

Con este último enfoque se completa el diseño real de la plataforma y se desarrolla el software neuro-difuso adaptable.

V. TRANSMISIÓN INALÁMBRICA Y COMUNICACIONES EN RED

Un aspecto relevante en el desarrollo de ejercicios físicos consiste en aislar a la persona de cualquier elemento o dispositivo que le impida realizar libremente sus movimientos, es por esto que las tecnologías de las comunicaciones inalámbricas cada vez toman mayor importancia en el cumplimiento de ésta función.



Texas Instruments ha desarrollado varios dispositivos de transmisión inalámbrica enfocados a la adquisición de biopotenciales, uno de estos es la micro-tarjeta Chronos, dispositivo que mide y transmite el ritmo cardiaco, la presión arterial y el mismo desplazamiento espacial del dispositivo. Con el protocolo de comunicación Bluetooth la información es transmitida desde la plataforma de rehabilitación o desde sensores ubicados en paciente (sensores del chronos), a un sistema central que cumple la función de almacenar, procesar y posteriormente retransmitir la información sobre la plataforma de un servidor web, ver Figura 11. Cada una de estas medidas forma un conjunto de datos que llega finalmente al especialista en la rehabilitación del paciente.

RESULTADOS

Con este proyecto, se ha consolidado un equipo humano y técnico conformado por fisioterapeutas, ortopedistas e ingenieros, quienes evalúan el funcionamiento, funcionalidad y el desempeño de cada una de las etapas de desarrollo de la plataforma. Con el diseño metódico de la plataforma, el equipo de trabajo encontró que primer enfoque debe ser orientado al tratamiento de pacientes adultos mayores con problemas de artrosis en los miembros inferiores de la ciudad de Tunja, para esto ya se cuenta con el esquema mecánico de la plataforma, los dispositivos de supervisión, control, transmisión de datos, que permiten realizar levantamientos estadísticos y posteriormente la evaluación del paciente.

VI. CONCLUSIONES

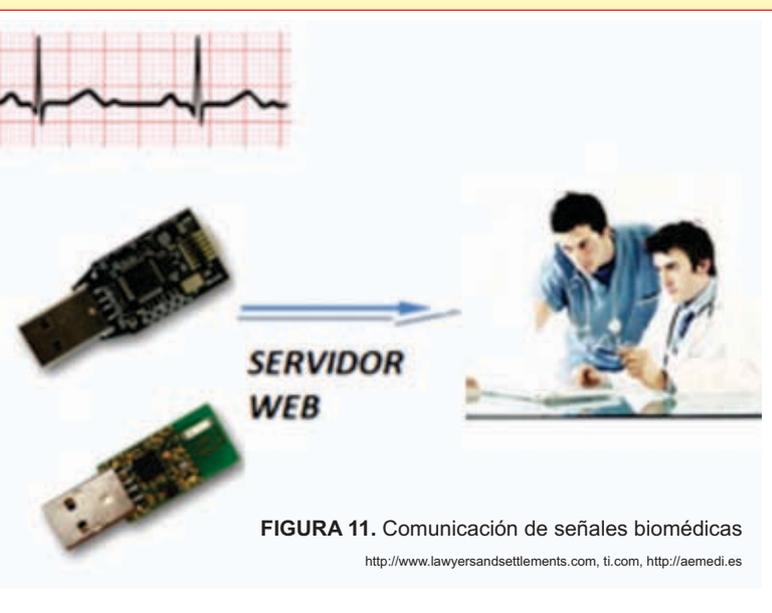
Con el correcto control de los movimientos en la marcha de un persona mayor, se orientan los esfuerzos del experto en rehabilitación para encontrar en su paciente la

motivación para el desarrollo de ejercicios y el deseo de mantenerse continuamente en forma, disminuyendo posteriormente las lesiones prematuras que se pudieran presentar, apoyando el diagnostico de algunas patologías musculares en la marcha y reduciendo los tiempos de rehabilitación.

Controlar los parámetros que involucran la marcha es uno de las ocupaciones comunes de los profesionales de la salud especializados en este tipo de áreas, pero la transmisión y recepción de datos, el almacenamiento y procesamiento de la información es función de un sistema de control que finalmente apoya al profesional para ejercer funciones de supervisión y control.

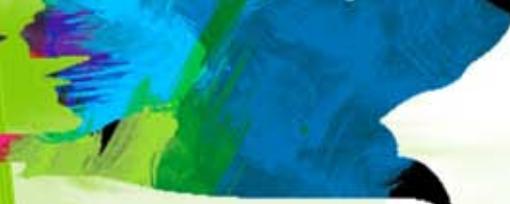
El diseño de esta plataforma, recoge y mejora múltiples características de otras plataformas creadas por reconocidas empresas a nivel mundial. Con esta implementación se da inicio al estudio estadístico sobre la marcha en personas mayores de la ciudad de Tunja. En esta etapa, los datos ahora serán tele transmitidos desde un panel de control y tendrán como fin un análisis especializado.

Agregar un software adaptable por medio de un sistema neurodifuso de ANFIS nos ha permitido reducir el desarrollo en los procesadores digitales, haciendo más fácil la simulación y obtención de datos que permitirán el completo control de la plataforma. La realización de entrenamientos experimentales simulados con este software reduce los el tiempo de implementación de circuitos y nos brinda seguridad sobre las pruebas que se realizan en tiempo real.



REFERENCIAS

- Avila Barón, Adolfo. Lógica Difusa Adaptable aplicada a un robot de navegación libre, Libro de Tesis de Maestría en Automatización Industrial, 2006.
- Barbeau H and Visintin M. Optimal outcomes obtained with body weight support combined with treadmill training in stroke subjects.
- Boccardi S, Frigo C, Tesio L et al. A biomechanical study of locomotion by hemiplegic patients. En: Morecki LA, Fidelus K, Baltimore: University Park Press, 1981:461.
- R. Peterson & Joseph D. Bronzino, Biomechanics Principles and Applications, 2008 by Taylor & Francis Group, LLC
- <http://www.globalaging.org/health/world/2007/ColombiaRoadtoAging.htm>
- <http://processors.wiki.ti.com/index.php/EZ430-Chronos>
- Rehabilitación Locomotora, <http://aemedi.es/rehabilitacion.htm>



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

T U N J A

Experiencia y Calidad

