

Temática: IV Taller internacional de Impacto de las TIC en la Sociedad

Aplicación Android para el Control de un Sistema Terapéutico de Ejercicios

Android Application for the Control Of An Exercise Therapeutic System

Carlos Enrique Ramírez Martín¹, Geovanis Thaireaux-González², Orlando Calderín-Medina², Daimir Alcibiades Pineda-Tamayo², Alberto López Delis²

¹ Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones, Informática y Biomédica. Universidad de Oriente, Patricio Lumumba s/n. cramirez@uo.edu.cu,

² Centro de Biofísica Médica. Universidad de Oriente, Patricio Lumumba s/n. geo.thaireaux@gmail.com, ocalderin@uo.edu.cu, daimirpt@gmail.com, lopez.delis69@gmail.com

* Autor para correspondencia: lopez.delis69@gmail.com

Resumen

El presente trabajo aborda el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles Android, con fines de rehabilitación terapéutica, así como de entrenamiento. La aplicación presenta una interfaz visual para el control de un pedal motorizado, cuyo objetivo es el entrenamiento y rehabilitación de los miembros inferiores y superiores. La misma integra varias interfaces relacionadas con el control del pedal, basadas en modos de rehabilitación, monitoreo de señales bio-eléctricas y reportes estadísticos. En el trabajo, se abordan los aspectos fundamentales de la aplicación, las principales funcionalidades, el desarrollo de sus interfaces y las tecnologías empleadas para su implementación. El desarrollo de esta aplicación y su integración como parte del Sistema Terapéutico de Ejercicios, representa una tecnología de avanzada para el tratamiento de rehabilitación terapéutica en personas con discapacidad muscular y su reincorporación a las actividades de la vida diaria.

Palabras clave: Aplicación Android, Señales Electromiográficas, Pedal Motorizado, Rehabilitación terapéutica.

Abstract

This work deals with developing an application for Android mobile devices for therapeutic rehabilitation purposes and training. The application presents a visual interface for controlling a motorized pedal, whose objective is the training and rehabilitation of the lower and upper limbs. It integrates various interfaces related to pedal control based on rehabilitation modes, bioelectrical signals monitoring, and statistical reports. At work, the fundamental aspects of the application, the main functionalities, the development of its interfaces, and the technologies used for its implementation are addressed. The development of this application and its integration as part of the Exercises Therapeutic System



represents a technology advanced for the treatment of therapeutic rehabilitation in people with muscular disabilities and their reincorporation to daily life activities.

Keywords: Android Application, Electromyographic signals, Motorized pedal, Therapeutic rehabilitation.

Introducción

Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) juegan un papel fundamental en el mundo moderno. Se encuentran integradas de tal manera en todos los aspectos de las sociedades que sería realmente difícil imaginar el funcionamiento de las entidades modernas sin el uso de las mismas. Desde el simple almacenamiento y análisis de los datos hasta la interconexión de dispositivos. Uno de los principales campos en que se ve un notable avance a través del uso de las TICs es en el campo de la medicina, estos abarcan desde el registro básico de los datos de pacientes, enfermedades y medicinas hasta los complejos análisis de datos con el fin de aplicar tratamientos, predecir comportamientos o incluso la concepción de nuevos medicamentos. Con el emergente desarrollo y nuevas aplicaciones de las TICs, se vislumbran múltiples oportunidades y soluciones en el ámbito de la salud, con especial importancia en la tele-rehabilitación, la cual se enmarca en la E-Salud, y la cual se puede definir como la prestación de servicios de rehabilitación de forma remota y, particularmente, mediadas por las TICs. Existen diversos escenarios en el ámbito de la salud y en especial en los estudios de rehabilitación del movimiento, donde analizar tanto los patrones eléctricos de activación muscular como las características de los movimientos de las personas con diversidad funcional motora es de gran utilidad, debido a las múltiples implicaciones que tiene en el diagnóstico, seguimiento y comprensión de trastornos y patologías.

En el campo de la salud, recientemente se han realizado estudios para la valoración y diagnóstico del sistema motor humano mediante la incorporación de tecnologías y la búsqueda de métodos de análisis más precisos que permitan obtener datos e información consistentes sobre los cuales fundamentar decisiones terapéuticas y de rehabilitación que permita evaluar o no la mejoría de un paciente si se le somete a determinado tratamiento. En este escenario se hace necesario un sistema que permita la captura y análisis de movimientos y captura de actividad eléctrica muscular, el cual no debe ser invasivo, no deben interferir en el desempeño del sujeto evaluado, de costo asequible y con potencial uso ambulatorio desde el hogar.

Las plataformas de rehabilitación remota tienen por delante como gran reto la heterogeneidad de las técnicas de rehabilitación, las especificidades de los procesos fisiológicos-metabólicos-biomecánicos involucrados en cada una de

ellas, la heterogeneidad de los sistemas de medición que pueden utilizarse, de los procedimientos de análisis y de toma de decisiones. Esto hace que el diseño y desarrollo de plataformas que integren soluciones específicas para cada una de estas técnicas, requieran de una visión disruptiva que abarque diferentes enfoques, técnicas y metodologías de diseño. Además, de un enfoque multidisciplinario, desde el punto de vista del diseño, se requiere de enfoques que permitan reducir la complejidad del proceso de diseño, como es el caso del diseño e ingeniería basada en modelos. Además, de nuevos enfoques ingenieriles de diseño que faciliten la integración de sistemas de medición de tiempo real heterogéneos con algoritmos de análisis, monitorización, etc., de tiempo real, como es el caso de la ingeniería de sistemas ciberfísicos. [Barrios y Otros, 2019], [Hernández Rincón y Otros, 2019], [García Custodio, 2018]

El presente trabajo en el marco de las TICs, y su aplicación al desarrollo de las tecnologías médicas presenta una propuesta de aplicación para el control de un pedal motorizado. La aplicación integra varias tecnologías para la monitorización de señales de electromiografía de superficie para *biofeedback*, establecimiento de rutinas terapéuticas para la rehabilitación gradual de personas con discapacidad motora, en base a diversos modos de funcionamiento del pedal motorizado, reportes estadísticos y acceso a centro de datos como repositorios de información. La contribución de esta aplicación como parte de un Sistema Terapéutico de Ejercicios permitirá potenciar las tecnologías de rehabilitación en las salas especializadas y hospitales del país.

Aplicación Android para el Sistema Terapéutico de Ejercicios

1. Estructura del Sistema

El sistema se encuentra dividido en dos partes principales, el pedal, que constituye la parte mecánica y es con el cual los pacientes pueden realizar la terapia física y el sistema de control que es con el cual los especialistas pueden controlar la terapia que los pacientes realizan.

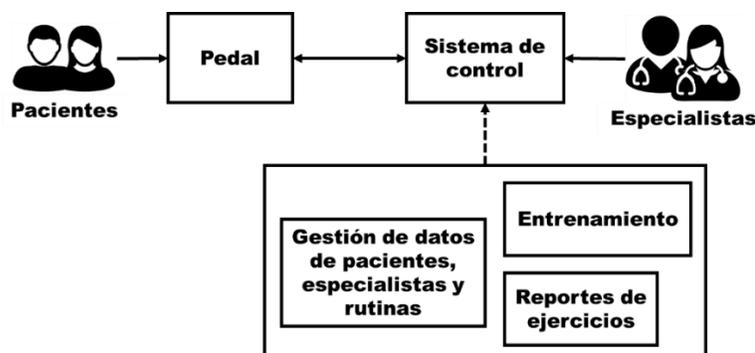


Figura 1. Estructura del sistema.

2. Requerimientos funcionales de la Aplicación.

En el proceso de desarrollo de un sistema es fundamental definir qué requisitos se deben cumplimentar en vista a elevar su efectividad y calidad, ellos constituyen el hilo conductor del proceso de desarrollo y están enfocados en la necesidad y solicitud del cliente [Pressman, 2004] [Jacobson, Booch y Rumbaugh, 2004]. Como parte del desarrollo del sistema se han identificado una serie de requisitos y funcionalidades, las cuales se representan de forma resumida en el siguiente diagrama:

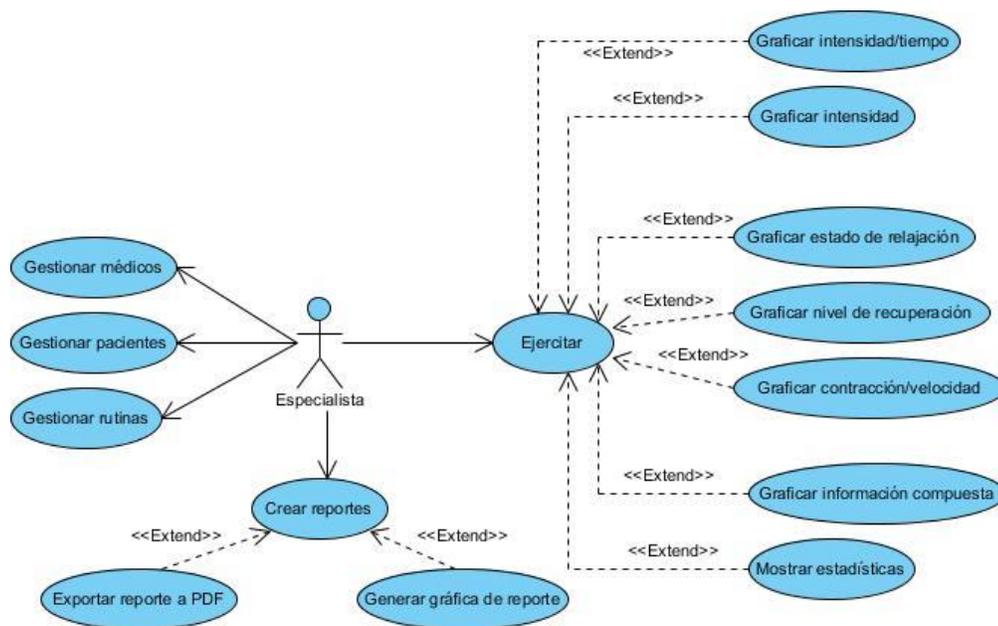


Figura 2. Diagrama de casos de uso, basada en las funcionalidades del sistema.

Aunque en el diagrama mostrado se pueden apreciar las principales funcionalidades del sistema, se puede considerar como funcionalidad crítica y principal objetivo del desarrollo de la aplicación, la posibilidad de controlar de manera remota la rehabilitación de un paciente determinado. Teniendo en cuenta lo anterior el caso de uso “Ejercitar” se ha diseñado como un módulo del sistema y constituye el principal requisito. El resto de las funcionalidades del sistema se han agrupado en otros dos módulos cuyos objetivos finales son gestionar los datos necesario para el uso del sistema y la generación de reportes de los entrenamientos realizados, las principales características de estos módulos serán abordadas a continuación.

3. Descripción de los módulos del sistema.

Las funcionalidades antes mostradas se han agrupado en tres módulos que permiten la gestión de la información, realización de los ejercicios terapéuticos y la generación de reportes. Los mismos pueden ser accedidos desde la interfaz principal de la aplicación la cual se representa en el lado derecho de la figura 2.



Figura 3. (a) Interfaz de presentación (izquierda). (b) Interfaz principal de la aplicación (derecha).

En el módulo de gestión de la información se han agrupado las funcionalidades necesarias para gestionar la información de los especialistas médicos, los pacientes a rehabilitar y las rutinas de los ejercicios a realizar. Dicha información se almacena en una base de datos *sqlite* gestionada por el propio sistema y cada funcionalidad comprende las funciones de Listar/Crear/Modificar/Eliminar según la información que se esté gestionando. La figura 3 muestra los formularios para el registro de los especialistas, pacientes y rutinas.

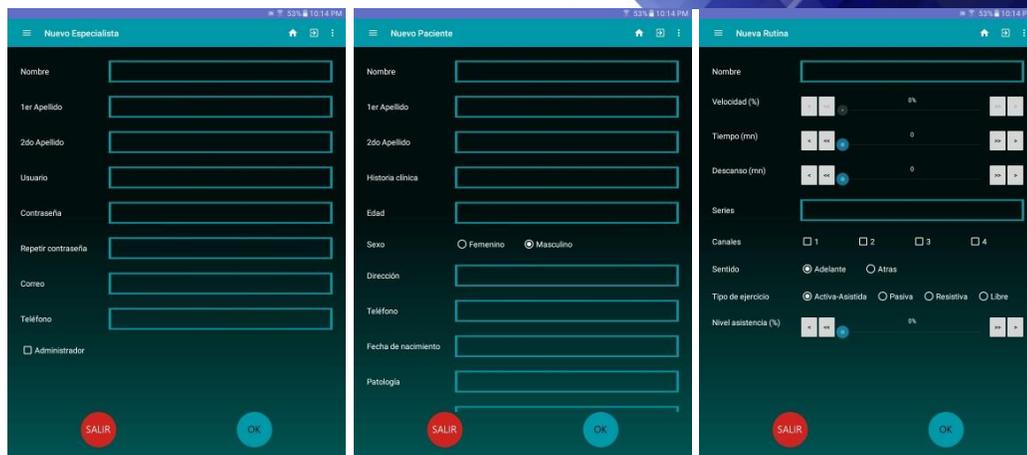


Figura 4. Formularios de registro de datos, (a) especialista (izquierda), (b) pacientes (centro), (c) rutinas (derecha).

En el módulo de ejercicios se han agrupado las funcionalidades correspondientes a la realización de los ejercicios, registro de las señales electromiográficas de superficie (EMGs) adquiridas en los músculos asociados al pedaleo y las gráficas correspondientes a la visualización de las señales EMGs, así como otras de interés para los especialistas como la relajación de los músculos y las estadísticas de los ejercicios, ver figura 5.

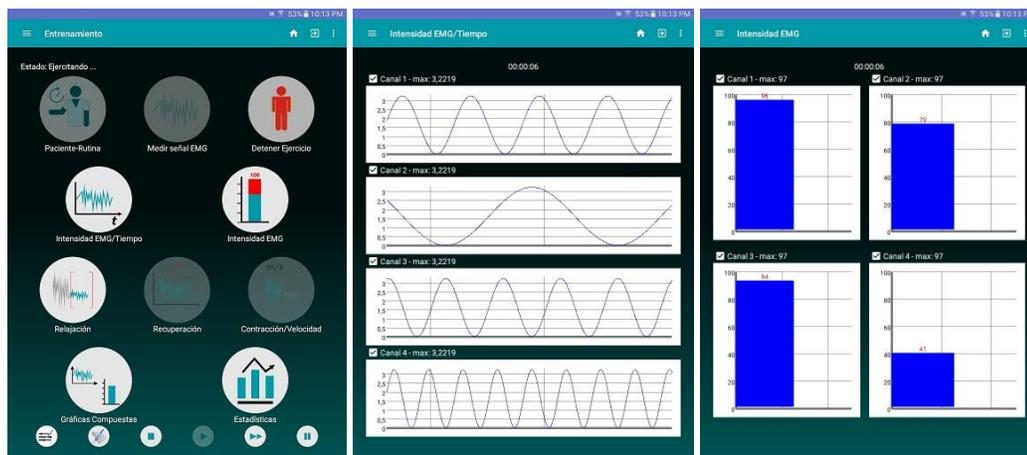


Figura 5. Interfaz principal del módulo de ejercicios (izquierda), grafica en el tiempo de la señal EMGs (centro), gráfica de la potencia de la señal EMGs (derecha). Nota: las señales mostradas no son de personas reales.

El módulo de reportes permite a los especialistas generar reportes estadísticos finalizado los ejercicios terapéuticos de rehabilitación. En este módulo se representa la información correspondiente a los datos del ejercicio como la hora de inicio y fin de la terapia, las estadísticas, los datos relacionados del especialista que planificó la terapia de rehabilitación, los datos del paciente, así como la configuración de la rutina ejecutada (Figura 6a). Teniendo en cuenta los tiempos considerables de registro de EMGs, el módulo permite que los especialistas puedan seleccionar el segmento a incluir en el reporte, para ello estos pueden escoger el canal y la ventana de tiempo que desean exportar (Figura 6b).

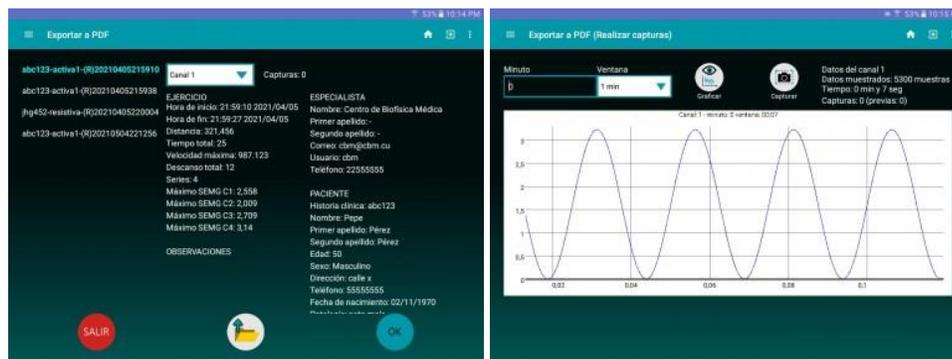


Figura 6. (a) Interfaz principal del módulo de reportes (izquierda), (b) selección de las gráficas a exportar (derecha).

La integración de los módulos se ha diseñado de manera tal que el especialista solo pueda realizar las acciones de estos desde sus interfaces correspondientes y nunca interactuar con las funcionalidades de otro módulo sin antes haber terminado o cancelado las acciones realizadas en otro módulo. En el caso del módulo de ejercicios se impide el acceso a otro módulo hasta tanto no se termine el entrenamiento. El acceso a cada uno de los módulos puede ser accedido desde la interfaz principal del sistema (Fig. 3b) siendo diseñados de la siguiente manera:

- Parte superior: Funcionalidades del módulo de gestión, que contempla las funcionalidades de gestionar especialista, pacientes y rutinas.
- Parte central: Funcionalidades de conexión con el pedal y control del entrenamiento.
- Parte inferior: Funcionalidad correspondiente a la generación de los reportes.

Una vez vistos los aspectos de las funcionalidades del sistema y cómo estas fueron agrupadas en los tres módulos abordados se hace necesario explicar una serie de características necesarias del sistema y que constituyen requisitos no funcionales en la construcción del sistema por lo que juegan un papel fundamental en el funcionamiento del mismo.



4. Requisitos no funcionales

Entre las principales ventajas de la aplicación se encuentran los requisitos no funcionales que aseguran la correcta ejecución de la terapia y que permiten el trabajo con los diferentes modos de rehabilitación que ofrece el sistema terapéutico de ejercicios.

Los principales aspectos de estos requisitos se listan a continuación:

1. Uso del protocolo TCP/IP para la comunicación. Todo el intercambio de información entre el pedal motorizado y la aplicación móvil se realiza mediante el protocolo de comunicación TCP/IP usando la comunicación *wifi*. Esto permite una gran movilidad a los especialistas que pueden gestionar la terapia incluso sin tener que estar al lado del paciente. De igual manera aporta un elevado nivel de usabilidad puesto que un mismo dispositivo móvil puede ser empleado para gestionar múltiples pedales, lo cual es muy apreciado en caso de pérdidas o roturas.
2. Sincronización con el estado actual del pedal. La aplicación es capaz de adaptarse al funcionamiento del pedal, brindando a los especialistas un conocimiento real del estado del ejercicio que el paciente se encuentra realizando. Durante la realización de una terapia es común que el especialista realice acciones sobre el paciente tales como: pausar el ejercicio, adelantar un descanso/serie o modificar los parámetros de la rutina actual. Muchas de las acciones también son realizadas automáticamente por el pedal teniendo en cuenta los parámetros establecidos para el ejercicio. Estas acciones pueden ser realizadas automáticamente por el pedal o manualmente por el especialista desde la misma aplicación o desde el pedal a través de su interfaz local de gestión. En cualquiera de las dos variantes mencionadas anteriormente ambos sistemas, pedal y aplicación móvil, se sincronizan automáticamente de manera que los cambios ocurridos en una parte del conjunto pueden ser apreciados en la otra parte.
3. Recuperación ante caídas del sistema. Al ser una aplicación móvil, que funciona de manera inalámbrica con el pedal, puede ocurrir que en medio de la realización de un ejercicio la aplicación se cierre o el dispositivo móvil se apague y/o reinicie repentinamente. Es por lo anteriormente mencionado que la aplicación, al acceder el especialista al módulo de ejercicio, encuesta al pedal preguntándole el estado del mismo. Un ejercicio no debe detenerse así se haya perdido la conexión con el dispositivo móvil de control. El pedal tiene la información necesaria sobre la rutina a ejecutar, datos, tiempos y ciclos de ejercitación, esta información es proporcionada al iniciarse el entrenamiento. De esta forma la aplicación, teniendo en cuenta la respuesta a la encuesta realizada al pedal, es capaz de adaptarse al momento, mostrando al especialista la información del ejercicio como si nunca hubiese ocurrido la interrupción del sistema.



4. Transmisión de la información en tiempo real y cero pérdidas de información. Debido a que la principal información transmitida por el pedal son las señales de EMGs, se ha diseñado un protocolo de transmisión en el que cada 100ms se recibe un paquete de información con las mediciones actuales, dichas mediciones son tomadas a una frecuencia de 1 KHz, lo que implica una muestra cada 1 ms. Los aspectos de seguridad y tiempo de transmisión de la información están corroborados a través de la comunicación *wifi* empleada y el hardware de los dispositivos. De esta manera se logra procesar, en pocos milisegundos, el paquete de datos, lo que implica actualizar las gráficas y almacenar los datos de las señales en ficheros de salva casi inmediatamente que la información es recibida.

En este punto se han abordado los aspectos generales de la aplicación, sus características y principales elementos del diseño. Seguidamente, se abordarán los modos de rehabilitación que integra la aplicación para el control remoto del pedal motorizado.

5. Modos de Rehabilitación

Una vez, presentado los principales aspectos de los requisitos no funcionales procederemos a explicar los diferentes modos de rehabilitación que son posibles manejar desde la aplicación. Para esto se emplea un protocolo de comunicación en el que cada dato enviado tiene un significado especial indicando el tipo de rutina y sus parámetros. Cada modo es especificado en la rutina a través de su formulario de registro (Fig. 4c):

1. Modo libre: En esta modalidad cualquier persona y no pacientes específicamente puede hacer uso del Sistema Terapéutico de Ejercicios. En este modo, no se introduce elementos de asistencia ni resistencia. Para su funcionamiento debe al menos configurarse un canal de EMGs, pero el sistema permite en tiempo de ejecución activar o desactivar dichos canales.
2. Modo activo-asistido: En esta modalidad el paciente tiene un nivel determinado de actividad muscular pero no lo suficiente para cumplimentar determinados niveles de ejercicio. Se introduce la variable “**nivel de asistencia**”, cuyo valor relativo y teniendo en cuenta los niveles de amplitud de la señal EMGs, define la asistencia o ayuda que realizará el pedal al paciente, en menor o mayor medida, para que este complete el movimiento deseado. El especialista puede pausar el ejercicio o inducir la siguiente fase del mismo directamente.

Un entrenamiento está compuesto por una rutina que incluye un número de series con tiempos de ejercicios y tiempos de descanso, determinados cada uno de ellos por un especialista. Al empezar un entrenamiento el paciente se encontrará moviendo el pedal y transcurrido un tiempo de duración del ejercicio, se entrará en un tiempo de descanso, durante el cual el pedal no se estará moviendo. Estos ciclos se repetirán tantas veces como series hayan sido establecidas. De encontrarse en medio de la realización de un ejercicio el especialista puede inducir una pausa, lo que parará el movimiento del pedal y el cronómetro, retomando desde este punto al reanudarse el ejercicio, o inducir directamente el descanso. Lo anterior, provoca que el sistema avance hacia dicha parte de la serie obviando el tiempo restante del ejercicio. De encontrarse en un estado de descanso el especialista puede pausar el mismo, lo que hará que el sistema detenga el cronómetro, retomando desde este punto al reanudarse el descanso, o inducir directamente el siguiente ejercicio de la próxima serie obviando el tiempo restante del descanso en el cual se encontraba el paciente.

3. Modo pasivo: En esta modalidad el paciente es asistido todo el tiempo, durante la ejecución de la rutina terapéutica, por presentar alguna discapacidad muscular que le impida accionar del pedal con su propio esfuerzo.
4. Modo resistivo: En esta modalidad el paciente tiene suficiente capacidad muscular para mover el pedal de forma autónoma, se introduce la variable “**nivel de resistencia**”, dicho valor representa el valor relativo y teniendo en cuenta los niveles de amplitud de la señal EMGs, define una parte de la resistencia al movimiento (la otra parte la define la resistencia mecánica que se ajusta de forma local) que el pedal ofrece al paciente, en menor o mayor medida, para que este complete el ejercicio deseado..

La posibilidad de los cuatro modos de rehabilitación abordados, con los cuales se puede dar terapia a pacientes con afecciones musculares, hacen que el sistema abordado constituya un producto competitivo como plataformas TICs en el área de la rehabilitación.

Resultados y Discusiones

A continuación, procederemos a presentar una secuencia de acciones a realizar con la aplicación para la ejecución de una rutina pasiva.

1. Los datos del paciente y la rutina deben haber sido establecidos (Fig. 4b y 4c). La información de la rutina se envía al pedal para su ejecución mientras que los datos del paciente se usan para la conformación del reporte.

2. Se accede al módulo de “Ejercicios” (Fig. 5). La aplicación encuesta al pedal por su actual modo (ver “Requisitos no funcionales” 3er punto). Una vez dentro del módulo de ejercicios las funcionalidades de “Medir” y “Ejercitar” estarán deshabilitadas.
3. Se accede a la funcionalidad “Seleccionar Paciente-Rutina” del módulo de “Ejercicios”. Esta funcionalidad permite al especialista seleccionar el paciente que desea ejercitar y la rutina que desea aplicarle a este. Una vez seleccionados estos datos, las funcionalidades de “Medir” y “Ejercitar” se habilitarán.
4. El especialista ejecuta la funcionalidad “Ejercitar”. La aplicación envía la orden al pedal; dicha orden consiste en una trama de datos que especifican:
 - Acción a realizar, en este caso la acción es “Iniciar entrenamiento”. Todas las tramas de datos intercambiadas entre el pedal y la aplicación empiezan con este dato y en dependencia de él se interpretan los siguientes datos de la trama.
 - Velocidad de ejecución del ejercicio
 - Duración de cada periodo de ejercicio
 - Duración de los periodos de descanso luego de cada ejercicio
 - Cantidad de series
 - Canales habilitados para la recepción de la señal EMG (en este caso ya que la rutina es pasiva los cuatro canales estarán deshabilitado)
 - Tipo de rutina (en este caso “pasiva”)

El pedal comienza un movimiento automático que ejerce fuerza sobre las piernas del paciente logrando así su movimiento (ejercicio). Dicho movimiento se controla con un temporizador y teniendo en cuenta los datos recibidos de la aplicación se mantiene durante un tiempo determinado. Posterior a este el pedal se para, deteniendo el movimiento del paciente, también durante un tiempo determinado (descanso). Dicho ciclo se repite tantas veces como se haya establecido (series). En todas las fases el pedal envía a la aplicación una trama de datos indicando la acción a realizar para que esta actualice la interfaz y así el especialista pueda conocer en todo momento el estado actual de ejecución de la rutina.

5. Durante la ejecución del ejercicio el especialista puede realizar diversas acciones:
 - Pausar/Reanudar la rutina/descanso
 - Saltar la acción actual e ir directamente a la siguiente. De estar en medio de la ejecución del ejercicio se puede ir directamente al descanso y viceversa.

- Solicitar estadísticas parciales del entrenamiento.
 - Realizar anotaciones del ejercicio que serán agregados al informe.
6. Al terminar la rutina el sistema pide al pedal las estadísticas del entrenamiento, que conjuntamente con los datos del paciente, la rutina y anotaciones son almacenados en ficheros para posteriormente permitir al especialista conformar un reporte.

El desarrollo e inclusión de estos modos de rehabilitación y la adecuada secuencia de programación de los mismos en la aplicación, permite que los especialistas discriminen con mayor exactitud los pacientes a tratar, según sea el caso:

- Están completamente sanos, en cuyo caso sería más un entrenamiento que una terapia.
- Presentan problemas musculares, pero aun disponen de cierto grado de fuerza muscular no llegando al ciento por ciento y se hace necesario el apoyo del especialista en determinados momentos.
- No tienen fuerza muscular ninguna.
- Presentan problemas musculares, pero aun disponen de cierto grado de fuerza muscular no llegando al ciento por ciento y se hace necesario la presencia de una fuerza que ofrezca resistencia en determinados momentos.

Conclusiones

Con el desarrollo de la herramienta descrita y su integración con el pedal se logra disponer de una tecnología capaz de aportar una significativa contribución en los procesos de rehabilitación de pacientes con discapacidad motora en los hospitales y salas de rehabilitación de nuestro país. La disponibilidad de una aplicación móvil que permita gestionar la terapia aplicada a un paciente y el control de la misma, de forma remota, a través del uso del pedal, influirá en la eficiencia del trabajo de los especialistas médicos y en gran medida en la cantidad de pacientes a tratar con la optimización del tiempo para la implementación de las terapias. La generación de reportes y el almacenamiento de los datos de los ejercicios realizados, así como el empleo de técnicas de retroalimentación a partir del procesamiento de las señales EMGs, permite la realización de estudios más profundos por parte de especialistas de diversas áreas, con el objetivo de optimizar tratamientos, predecir comportamientos o diseñar terapias más adecuadas a diversos tipos de rehabilitación para disímiles tipos de afecciones musculares.



Referencias

1. Barrios, M., Rodríguez, L., Pachon, C., Medina, B., & Sierra, J.E. (2019). Telerehabilitación funcional en entornos virtuales interactivos como propuesta de rehabilitación en pacientes con discapacidad. *Espacios* Vol40, No25, ISSN: 0798 1015.
2. Hernández Rincón, Erwin H., Leño Ramírez, Catalina, Fuentes Barreiro, Yuli V., Barrera Orduz, María F., & Blanco Mejía, Josep A. (2019). Telemedicina en procesos de rehabilitación en pacientes con paraplejia bajo el contexto de Atención Primaria de Salud. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 30(3), e1382. Epub 30 de octubre de 2019.
3. García Custodio, Óscar A. (2018). *Aplicación móvil para interfaz terapéutica de un sistema de telerehabilitación* (Trabajo fin de grado). Universidad de Valladolid.
4. **Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J.** (2004). *El Proceso Unificado de Desarrollo*. Vol I, Vol II. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.
5. **Pressman, R.** (2004). *Ingeniería de software. Un enfoque práctico*. Vol I, vol II. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.