

# Desarrollo de un sistema inalámbrico para el control de una aplicación de lectura de partituras musicales en formato digital

Krisbeth González<sup>1</sup>, Ibrahim Gordils<sup>1</sup>, José Musso<sup>1</sup>

krisbethg@gmail.com, iggordils@gmail.com, jmusso@gmail.com

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela

**Resumen:** El presente trabajo de grado se desarrolla con la finalidad de dar una solución al problema que tienen los músicos al momento de ejecutar las piezas musicales en cuanto al manejo de las partituras, ya que las mismas están escritas, generalmente, en varias páginas. Como es de entender, la mayoría de los instrumentos musicales se tocan o sostienen con las dos manos, lo cual hace complicado pasar de páginas mientras se interpreta una pieza. Usando los avances tecnológicos existentes en la actualidad, se busca desarrollar un sistema inalámbrico capaz de facilitar el control de partituras al momento de interpretar una pieza musical. De esta forma, el proyecto se basa en desarrollar un pedal inalámbrico con tres botones que controle de forma remota el paso de páginas y saltos previamente programados por el usuario dentro de una partitura digital que se puede visualizar desde una aplicación igualmente desarrollada como parte del trabajo de grado. Para la comunicación entre el dispositivo inalámbrico y la tableta donde se encuentra instalada la aplicación se debatió entre dos tecnologías importantes como lo son Bluetooth y Wi-Fi Direct. Partiendo de esto, la tecnología escogida fue Bluetooth en su versión 4.0 que corresponde a Bluetooth Low Energy (BLE) por sus capacidades, ya que permite el intercambio de información con bajo consumo de energía.

Palabras Clave:

Bluetooth, Wi-Fi Direct, Android, Comunicación Serial, Microcontroladores.

## Development of a wireless system for controlling a digital sheet music reader application

**Abstract:** The following bachelor's degree project was realized in order to find a solution to a problem commonly encountered by musicians while performing: handling their musical sheets, which generally span several pages. Most musical instruments require the use of both hands, making it difficult to turn the pages of a given musical sheet while a performance takes place. Using current technological advances, the idea was to build a wireless system capable of assisting in the handling of musical sheets during a performance, through the implementation of a wireless pedal with three different buttons. This would allow to remotely turn pages and handle section jumps previously programmed by the user for digital musical sheets that can be visualized inside an Android application, which was also developed as part of the project. To establish communication between the wireless device and the tablet computer where the application would be installed, two possible wireless technologies were considered: WiFi Direct and Bluetooth. After extensive research, Bluetooth was chosen in its 4.0 version, which corresponds to Bluetooth Low Energy (BLE), given the advantages brought by the GATT profile structure, which allows low complexity information interchange with considerably low energy consumption.

Keywords:

Bluetooth, Wi-Fi Direct, Android, Serial Communication, Microcontroller.

## I. INTRODUCCIÓN

En el artículo presentado a continuación, se desarrolla un breve resumen sobre dicho trabajo de grado, incluyendo la razón por la cual se realizó el mismo, es decir, el planteamiento del problema, los objetivos y la solución presentada para dicho problema. Además, se muestra el marco metodológico, el desarrollo de cada una de las fases, los resultados obtenidos, las conclusiones y las recomendaciones. Adicionalmente, para un mayor entendimiento del lector, se presenta un marco teórico con los conceptos necesarios referentes al tema.

## II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS DEL PROBLEMA

La tecnología siempre ha sido una herramienta mediante la cual el ser humano busca hacer más fácil algún aspecto de su vida. En tal sentido, es posible poner la tecnología al servicio del arte, y en particular con esta propuesta, de la música.

Para un músico que debe mantener sus manos ocupadas con el instrumento mientras se encuentre tocando, representa un obstáculo tener que interrumpir su actividad a la hora de pasar las páginas en la partitura que se encuentre leyendo, ya sea en físico o en formato digital desde algún dispositivo electrónico. Esta dificultad se presenta especialmente cuando se trata de composiciones que incluyen repeticiones y saltos que abarcan varias páginas de la misma. Por esta razón se desea implementar un dispositivo que funcione como un pedal, para permitir el manejo de una aplicación de lectura de partituras en formato digital sin requerir el uso de las manos por parte del músico.

Actualmente existen en el mercado diversos sistemas de lectura de partituras digitales que incluyen controles inalámbricos para su manejo; sin embargo, el alto costo de los mismos hace muy difícil su adquisición. Se plantea entonces la posibilidad de diseñar y desarrollar un dispositivo de comunicación inalámbrica utilizando microcontroladores y módulos inalámbricos de bajo costo, y el mínimo necesario de componentes electrónicos requeridos para su correcto funcionamiento.

Se plantea además resolver un requerimiento adicional que podrían presentar los usuarios de la aplicación y que no se encuentra disponible en otras aplicaciones existentes, tal como lo es la posibilidad de programar saltos entre diferentes páginas de la partitura, y que

además puedan ser ejecutados desde el pedal inalámbrico.

Para determinar la mejor opción a usar en el desarrollo de este dispositivo, se estudiarán las tecnologías Wi-Fi, especialmente Wi-Fi Direct y Bluetooth. Ambas se encuentran masificadas en la actualidad, por lo que existe una amplia gama de terminales (tales como teléfonos inteligentes, tabletas y computadoras) con capacidad de establecer una comunicación mediante alguna o ambas tecnologías.

Para llegar a la solución del problema propuesto, se propuso un proyecto que tiene como objetivo general el desarrollo de un sistema que permita controlar de forma inalámbrica una aplicación de lectura de partituras musicales en formato digital.

En cuanto a los objetivos específicos, se plantearon los siguientes: investigar sobre el uso, funcionamiento y estándares existentes de las tecnologías Bluetooth y Wi-Fi Direct, además de las características de los diferentes módulos inalámbricos disponibles en el mercado, para que con base a esto, se pueda determinar la tecnología más adecuada a usar para la comunicación inalámbrica del sistema a desarrollar, investigar las características y funcionalidades de diferentes microcontroladores que posean la capacidad de establecer una conexión con el módulo inalámbrico escogido, así como diseñar y construir un pedal electrónico que sirva de control inalámbrico para el usuario de la aplicación de lectura de partituras musicales, de igual forma, diseñar y desarrollar una aplicación para Android que permita la lectura de partituras musicales digitalizadas y sea capaz de establecer una comunicación inalámbrica con el pedal. Por último, se planteó realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo.

## III. MARCO REFERENCIAL

Para un mayor entendimiento del lector, se presentan los conceptos básicos que se deben tener en cuenta para dicho proyecto. Este apartado incluye una explicación acerca de las dos tecnologías inalámbricas propuestas para la implementación del pedal y características de diferentes módulos considerados para la construcción del pedal. Incluye además conceptos relevantes sobre comunicación serial y consideraciones de energía para el diseño del dispositivo.

Adicionalmente, se especifica lo referente al ambiente Android Studio y el lenguaje de programación Java,

ambos requeridos para el desarrollo de la aplicación. Finalmente, se investigaron los diferentes saltos y repeticiones presentes en la escritura musical, ya que estos determinaron una parte fundamental de las funcionalidades requeridas para dicha aplicación.

Bluetooth es una tecnología desarrollada para la comunicación inalámbrica de datos en redes de área personal. Utiliza un sistema de espectro disperso por saltos de frecuencia, y opera en la banda de frecuencia ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) alrededor de los 2,4 GHz [1].

A pesar del tiempo transcurrido desde el lanzamiento de Bluetooth, sigue siendo una de las tecnologías más populares en el mercado. Sin embargo, luego del crecimiento de este protocolo en los dispositivos, *Bluetooth Special Interest Group* (Bluetooth SIG) observó que dicho protocolo consumía bastante energía, además de que la conexión entre los equipos y la conexión con algunas aplicaciones era lenta. Es por ello por lo que, para resolver este problema, se desarrolló una nueva tecnología conocida como *Bluetooth Smart* o *Bluetooth Low Energy* (BLE) [2].

Como todos los sistemas Bluetooth, BLE es un dispositivo inalámbrico que permite el intercambio de información con un bajo consumo de energía [3]. Tomando en consideración lo antes expuesto, se puede afirmar que BLE representa una gran elección para cualquier dispositivo electrónico de consumo, por sus beneficios de bajo costo, bajo consumo de energía, es decir, larga duración de la batería y facilidad en cuanto a su implementación [3].

Para que un dispositivo pueda comunicarse con otros dispositivos, existen dos formas de hacerlo: La primera es estableciendo una conexión dedicada entre dos dispositivos, y la segunda es el mecanismo de transmisión, donde se puede observar cómo los dispositivos que se encuentran habilitados para BLE están disponibles [4].

Estos mecanismos mencionados anteriormente, son controlados por un perfil de BLE llamado *Generic Access Profile* (GAP), el cual se encarga de la conexión de los dispositivos con una red BLE. En dicho perfil, se definen dos roles: Conexión y Radiodifusión [4]. Existe otro perfil de suma importancia dentro de BLE llamado *Generic Attribute Profile* (GATT), que se encarga de la comunicación de datos entre los dispositivos conectados [5].

Dentro del perfil GATT al igual que en el perfil GAP, existen ciertos roles que pueden utilizar los dispositivos que establecen una conexión. Es por ello que cada uno tiene una función definida dentro de dicho perfil. Estos roles son: Servidor y Cliente [5]. Las transacciones que realiza el perfil GATT se basan en Perfiles, Servicios y Características que son objetos anidados de alto nivel. La forma de diferenciar cada servicio es mediante un identificador numérico único que se denomina *Universally Unique Identifier* (UUID) [5].

De igual forma, es importante mencionar que las actualizaciones iniciadas por el servidor se envían de manera asíncrona hacia el cliente. Cuando existe un cambio en un valor característico, por lo que permite el ahorro de energía [6].

Otra tecnología a considerar es la de Wi-Fi Direct. Por su parte, es una tecnología definida por la Wi-Fi Alliance que busca mejorar la comunicación inalámbrica entre dispositivos electrónicos. Esta comunicación se establece de forma directa entre los dispositivos, sin necesidad de un *Access Point* (AP) que sirva de intermediario.

Para implementar Wi-Fi Direct es necesario un módulo Wi-Fi y una implementación de software que lo lleve a cabo. Es por ello, que se necesita de una mayor electrónica de fuerza en el interior del circuito, dando como resultado un gran incremento en el consumo de energía [7].

Es importante resaltar que existe un elemento común en los módulos inalámbricos considerados, y es que pueden recibir información de forma serial. A diferencia de la comunicación en paralelo, donde se envían múltiples bits de forma simultánea, en la comunicación serial se establece el envío y recepción de un bit a la vez entre dos dispositivos. Esto implica una menor velocidad de transmisión que en la comunicación paralela, pero permite disminuir considerablemente el número de líneas de entrada/salida entre los dispositivos que se comunican [8].

La parte física de los dispositivos que se encarga de la comunicación serial se conoce como *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter* (UART). Es importante resaltar, que la velocidad de transmisión de los bits se define entre el transmisor y receptor antes de la transmisión de los datos [9]. Gracias a esto, es posible establecer una comunicación entre el microcontrolador que manejará las entradas y salidas

del pedal, y el módulo que transmitirá las órdenes del usuario al dispositivo donde se alojará la aplicación de lectura de partituras musicales.

El sistema a desarrollar requiere de una alimentación de corriente directa para el funcionamiento de todos los componentes electrónicos: el microcontrolador, el módulo inalámbrico, los botones y diodos LEDs. Debido a que se requiere que el dispositivo sea portátil, se empleará una batería para la alimentación del circuito.

Para el desarrollo de la aplicación es necesario trabajar en el sistema operativo Android, el cual es un sistema operativo diseñado por Google que se basa en Linux, se usa para teléfonos móviles, tabletas, computadoras (ordenadores) móviles. Fue creado para que cualquier aplicación que es ejecutada en un *framework* Java pueda tener acceso a todas las funciones básicas de los dispositivos móviles [10].

Por otro lado, el lenguaje para desarrollar aplicaciones Android por excelencia es Java, ya que es considerado como el lenguaje mayormente utilizado para esta plataforma. En la actualidad es utilizado en una variedad de ámbitos informáticos, desde portátiles hasta centros de datos, desde consolas para juegos hasta súper computadoras, desde teléfonos móviles hasta Internet [11].

Para poder desarrollar la aplicación es necesario un ambiente de desarrollo, para lo cual el más idóneo es el de Android Studio. Dicho ambiente fue diseñado expresamente para el desarrollo de aplicaciones del sistema operativo Android. Se trata de un IDE (*Integrated Development Environment*) desarrollado y lanzado por Google en el año 2013 con la intención de proveer a los desarrolladores con las herramientas necesarias para construir aplicaciones móviles, de escritorio y otras tecnologías que usen Android OS [12].

Otro punto a investigar fue el referente a formato PDF, el cual es un formato de documento portátil utilizado para intercambiar documentos de una forma fiable, que no depende del software, hardware o del sistema operativo. Este punto es importante debido a que las partituras que se van a manejar deben estar en dicho formato [13].

Para poder programar el microcontrolador es necesario el lenguaje ensamblador, el cual es un lenguaje de

programación de fácil conversión al lenguaje de máquina. Dicho lenguaje se basa en una representación simbólica de lenguaje de máquina de bajo nivel que se compone de un conjunto de etiquetas, nemónicos, operandos y comentarios, permitiendo así que sea legible y de fácil uso [14].

Finalmente, como se trata de un dispositivo electrónico para músicos, es importante conocer lo relacionado con los saltos y repeticiones en una partitura musical, los cuales son descritos por Candelaria [15]:

- Da Capo (D.C.): Denota que la música se va a repetir desde el inicio.

- Da Capo al Fine (D.C Al Fine): Cumple la misma funcionalidad que el de Da Capo, pero con la diferencia de que esta repetición acaba cuando aparece la palabra Fine en dicha partitura.

- Dal Segno (D.S.): se va a realizar un salto hacia el compás donde aparezca el símbolo Dal Segno dibujado.

- Dal Segno al Fine (D.S. Al Fine): Cumple la misma función que el anterior solo que la repetición culmina en el compás que aparezca la palabra Fine.

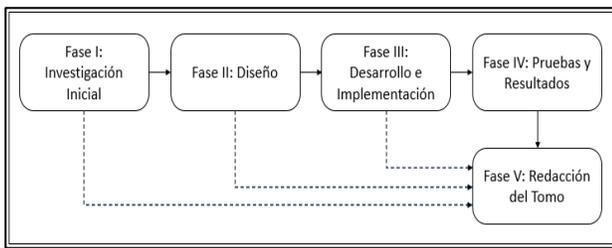
- Coda: es un final alternativo que solo se toca cuando en la partitura hay una instrucción que lleva a la Coda.

#### IV. MARCO METODOLÓGICO

El presente Trabajo de Grado está enmarcado bajo el concepto de una investigación de tipo proyectiva, definida por Hurtado como aquella en la que se elabora una propuesta o modelo para solucionar problemas de tipo práctico, partiendo de un diagnóstico previo de las necesidades del momento, los procesos involucrados y las tendencias futuras [16].

De esta manera, se definen una serie de fases para garantizar un mejor seguimiento y un correcto desarrollo del proyecto. Inicialmente, se establecieron diferentes objetivos, así como actividades asociadas al cumplimiento de cada uno de ellos, es por esto que se busca lograr alcanzarlos mediante cada una de las fases que se muestran en la

*Figura 1.*



**Figura 1:** Esquema de las Fases del Trabajo de Grado.  
Fuente: Elaboración Propia

Como se pudo observar, la *Fase I* hace referencia a la investigación inicial. Es por ello que en esta primera fase se lleva a cabo la investigación acerca de los diferentes temas que abarca el Trabajo de Grado, los cuales permitirán posteriormente la toma de decisiones para la implementación del sistema.

Tomando como punto de partida toda la información recopilada en la fase anterior, se procede a la *Fase II*. Esta fase se basa en diseñar el sistema pedal-aplicación propuesto para el Trabajo de Grado. Dentro de esta fase se elegirá la tecnología y microcontrolador a usar, además de diseñar tanto el circuito interno del pedal como la aplicación.

La *Fase III* abarca una serie de actividades que componen el desarrollo del sistema inalámbrico propuesto, comenzando desde pruebas y programación básica hasta la culminación del sistema pedal-aplicación. Es decir, en ella se realizarán pruebas de funcionamiento y programación tanto del microcontrolador como del módulo, además de la implementación del circuito interno del dispositivo inalámbrico, desarrollo de la aplicación y por último construcción del pedal inalámbrico.

La *Fase IV* comprende la realización de pruebas de funcionamiento del sistema inalámbrico desarrollado, comprobando que efectivamente todos los elementos que componen el sistema cumplen con las funcionalidades requeridas y dan pie al cumplimiento de los objetivos planteados. Esta fase abarca las pruebas de funcionamiento desde el punto de vista de la aplicación, del pedal y por último del pedal-aplicación integrado en su totalidad.

Finalmente se encuentra la fase V. Esta última fase se lleva a cabo en paralelo a las demás, y se desarrolla conforme al avance en cada una de ellas. En ella se recopila toda la información recabada en el proyecto

para realizar la redacción del tomo del Trabajo de Grado.

## V. RESULTADOS

Luego de culminadas las actividades del Desarrollo del Trabajo de Grado, se presentan los resultados obtenidos y el análisis de los mismos.

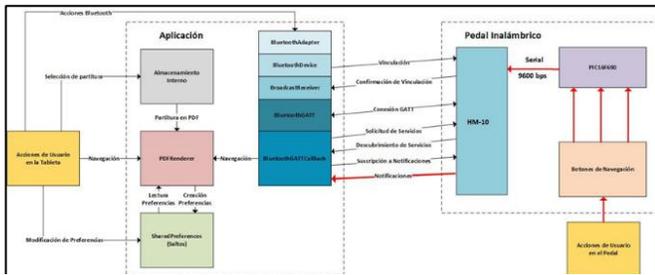
En la *Primera Fase* del Trabajo de Grado se llevó a cabo todo lo relacionado con la investigación previa sobre las tecnologías inalámbricas a usar y los módulos asociados. También se recabó información sobre otros elementos importantes como la programación en *PIC Assembly* para el microcontrolador y en Java para el desarrollo de aplicaciones Android, así como la estructura asociada a los archivos en formato PDF para su uso en la lectura de partituras musicales.

Además, se estudiaron los diferentes tipos de saltos y repeticiones en la escritura musical, permitiendo así definir las funcionalidades requeridas por la aplicación de lectura de partituras musicales. De esta forma, fueron cumplidos los primeros dos objetivos específicos del Trabajo de Grado.

En la *Segunda Fase*, correspondiente al diseño, se utilizó la información recabada en la fase anterior para decidir sobre las tecnologías y dispositivos a usar; a saber, Bluetooth como la mejor opción para la aplicación específica del pedal inalámbrico, con el módulo HM-10 para la implementación, y el PIC16F690 para el control de entradas del pedal inalámbrico. Se diseñó la estructura interna del pedal inalámbrico con todos sus componentes, así como la aplicación en Android con todas las funcionalidades requeridas para su uso como lector de partituras musicales. Esto permitió trazar un camino claro para el desarrollo de las actividades de la siguiente fase.

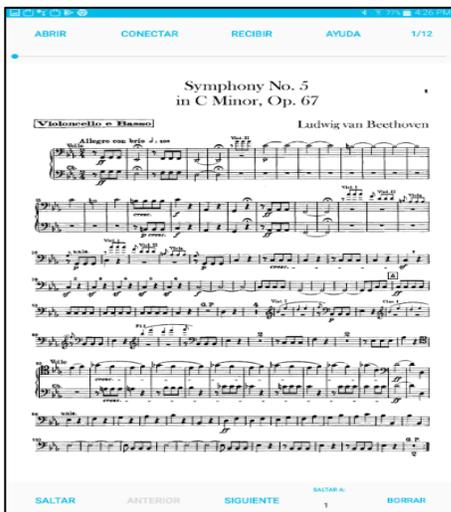
La *Tercera Fase* corresponde a la más extensa, debido a que se llevó a cabo en paralelo el desarrollo y programación de la aplicación Android y la construcción e implementación del pedal inalámbrico, convergiendo estas dos actividades al final para la puesta en funcionamiento del sistema pedal-aplicación en su totalidad, cuyo diagrama se muestra en la

Figura 2.



**Figura 2:** Diagrama de funcionamiento del sistema.  
**Fuente:** Elaboración propia

En primer lugar, se realizaron las pruebas de funcionamiento de forma aislada de los componentes y dispositivos a usar, tales como el módulo Bluetooth y el microcontrolador PIC. Luego de confirmar el correcto funcionamiento de los mismos, se procedió a establecer las pruebas de comunicación de tipo serial entre ellos, requerida para enviar las órdenes del usuario emitidas mediante los botones del pedal, hacia el módulo inalámbrico que retransmitiría la información hacia la tableta con la aplicación de lectura de partituras. En cuanto al desarrollo de la aplicación, se llevó a cabo exitosamente el proceso de integración de las funcionalidades de Bluetooth, manejo de archivos y renderización de PDF requeridas, permitiendo así que la información recibida mediante Bluetooth fuese utilizada por la aplicación para controlar la lectura de las partituras con el paso de página y el manejo de saltos en la partitura. La interfaz principal de la aplicación puede observarse en la **Figura 3**.



**Figura 3:** Interfaz principal de la aplicación de lectura de partituras musicales. **Fuente:** Elaboración propia.

Al confirmar el correcto funcionamiento de estas dos etapas paralelas del Trabajo de Grado, se llevaron a cabo correctamente las pruebas de integración del sistema pedal-aplicación. Así, se procedió a la construcción del prototipo definitivo del pedal inalámbrico (véase en la

**Figura 4**, donde puede observarse el circuito interno del pedal), culminando las actividades de la tercera fase.



**Figura 4:** Prototipo definitivo del pedal inalámbrico.  
**Fuente:** Elaboración propia

En la última fase previa a la redacción del tomo, se llevaron a cabo las pruebas finales de funcionamiento del sistema desde tres puntos de vista:

**A. Funcionamiento de la aplicación:**

En cuanto a las pruebas finales por parte de la aplicación, se mostró el funcionamiento con la solicitud de la aplicación para la activación del adaptador Bluetooth. Posteriormente, se realizó la búsqueda dentro del almacenamiento interno del dispositivo y apertura de un archivo PDF desde el directorio externo a *Documents*, confirmando así la correcta integración de las funcionalidades de renderización de archivos PDF y el acceso al almacenamiento interno. Se probaron las funcionalidades de paso de páginas, saltos programados, navegación mediante la barra de búsqueda, así como el borrado de saltos programados para una partitura y el manejo del botón de regreso de la tableta para confirmar la salida de la aplicación. Finalmente, se estableció una sesión de comunicación serial entre el módulo Bluetooth y el terminal YAT.

**B. Funcionamiento del pedal:**

Se probó el modelo final del pedal inalámbrico, con perfecto funcionamiento tanto con alimentación externa

mediante un cargador USB, como de manera independiente alimentado con la batería interna. Para las pruebas de funcionamiento de las acciones del pedal, se estableció una conexión con el mismo utilizando la aplicación BLE Scanner.

## VI. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PEDAL-APLICACIÓN EN SU TOTALIDAD

Para las pruebas finales del sistema integrado, se obtuvo una vinculación exitosa y se procedió al establecimiento de la conexión GATT. Seguidamente se activó exitosamente la recepción de comandos del pedal, así posteriormente, se ejecutó una secuencia de comandos de paso de página anterior y siguiente, saltos programados y salto a la primera y última página, todos recibidos correctamente, mostrando así una excelente integración y funcionamiento del sistema.

Habiendo logrado satisfactoriamente demostrar el funcionamiento en estos tres puntos, se confirmó el cumplimiento de los objetivos 3, 4 y 5 del Trabajo de Grado.

## VII. CONCLUSIÓN

La culminación de las actividades asociadas al Trabajo de Grado permitió establecer una serie de conclusiones en relación al mismo:

- Bluetooth sigue siendo hoy en día una tecnología inalámbrica poderosa, que permite la conexión de distintos tipos de dispositivos de forma rápida y segura para el intercambio de datos que no requieran altas velocidades de transmisión ni largas distancias. Las posibilidades que brinda *Bluetooth Low Energy* en especial a través de su estructura de transacciones GATT, facilitan la implementación de soluciones de bajo consumo energético y comunicación de baja complejidad para numerosas aplicaciones.

- A pesar de que Wi-Fi se presenta también como una tecnología muy útil para la comunicación inalámbrica, se prefiere su uso para aplicaciones que requieren cubrir una mayor distancia con velocidades de transmisión mayores. En el caso particular del presente Trabajo de Grado, se demostró la suficiencia de *Bluetooth Low Energy* para alcanzar los objetivos planteados sin requerir de las capacidades adicionales en cuanto a velocidad y alcance que brinda *Wi-Fi Direct*, además de incurrir en un menor consumo de energía.

- La facilidad que presenta el sistema operativo Android para el desarrollo de aplicaciones móviles representa una gran ventaja para la implementación de soluciones como la del presente Trabajo de Grado. Fue posible crear una aplicación que abarcara la integración de numerosas funcionalidades para permitir el manejo de partituras musicales en formato digital y su control desde un dispositivo inalámbrico a través de Bluetooth.

- Se demostró la posibilidad de resolver un problema particular que no está directamente relacionado con la ingeniería, como es el caso de la dificultad en el manejo de partituras por parte de músicos durante el desarrollo de su actividad, a través de una solución que integra conocimientos de electrónica digital, métodos de comunicación inalámbrica y aplicaciones móviles.

## RECOMENDACIONES

Para futuras mejoras del sistema implementado se elaboraron una serie de recomendaciones:

- Se recomienda incluir en la aplicación un sistema de reconocimiento de patrones de escritura, permitiendo al usuario dibujar símbolos que puedan ser reconocidos por la aplicación y que estos cumplan la función de los símbolos preestablecidos para saltos y repeticiones en la partitura, o que puedan cumplir funciones adicionales que se definan posteriormente.

- Se recomienda la creación de un repositorio de partituras musicales, que pueda accederse a través de Internet para la descarga de las mismas desde la aplicación, siempre y cuando su uso esté enmarcado en el respeto a los derechos de autor.

- Se propone la programación de un sistema que permita el reconocimiento de audio e identifique en la partitura la posición actual correspondiente según el sonido de la música.

- Se recomienda el desarrollo de una aplicación equivalente para dispositivos que utilicen sistema operativo iOS, permitiendo así el

uso del pedal inalámbrico con una mayor gama de dispositivos disponibles en el mercado.

#### REFERENCIAS

- [1] Rohde & Schwarz GmbH & Co, "Tecnología Bluetooth®," [Online]. Available: [https://www.rohde-schwarz.com/lat/tecnologias/conectividad-inalambrica/bluetooth/tecnologia-bluetooth/tecnologia-bluetooth\\_55694.html](https://www.rohde-schwarz.com/lat/tecnologias/conectividad-inalambrica/bluetooth/tecnologia-bluetooth/tecnologia-bluetooth_55694.html). [Accessed 4 Diciembre 2017].
- [2] A. T. LLC, "Introduction to Bluetooth Low Energy (BLE) v4.0," [Online]. Available: <http://www.argenox.com/library-2/introduction-bluetooth-bajo-consumo/>. [Accessed 23 Julio 2018].
- [3] M. Rouse, "Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE)," [Online]. Available: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Bluetooth-Low-Energy-Bluetooth-LE>. [Accessed 29 Julio 2018].
- [4] Punch Through Design, "How GAP and GATT Work," [Online]. Available: <https://punchthrough.com/products/bean/docs/guides/everything-else/how-gap-and-gatt-work/#how-do-gap-and-gatt-differ->. [Accessed 25 Julio 2018].
- [5] J. Macias, "Bluetooth BLE: el conocido desconocido," 24 Mayo 2017. [Online]. Available: <https://solidgargroup.com/bluetooth-ble-el-conocido-desconocido?lang=es>. [Accessed 24 Julio 2018].
- [6] A. C. C. K. T. Robert Davison, "Chapter 4. GATT (Services and Characteristics)," [Online]. Available: <https://www.oreilly.com/library/view/getting-started-with/9781491900550/ch04.html>. [Accessed 27 Junio 2018].
- [7] M. J. Guitiérrez, "Qué es WiFi Direct y en qué se diferencia del Bluetooth," *El Español*, 18 Octubre 2016.
- [8] SparkFun Electronics, "Serial Communication," [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>. [Accessed 10 Diciembre 2017].
- [9] A. Tamayo, "Comunicación serial," 21 Junio 2009. [Online]. Available: <https://galaxi0.wordpress.com/el-puerto-serial/>.
- [10] Y. J. Molina Rivera, J. Sandoval Cardona and S. A. Toledo Franco, "Sistema Operativo Android: Características y Funcionalidad para Dispositivos Móviles," 2012. [Online]. Available: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2687/0053M722.pdf;jsessionid=6BDD2BEB83CF350A169619BD92D129F0?sequence=1>. [Accessed 3 Diciembre 2017].
- [11] JAVA, "¿Qué es la tecnología JAVA y para qué la necesito?," [Online]. Available: [https://www.java.com/es/download/faq/whatis\\_java.xml](https://www.java.com/es/download/faq/whatis_java.xml). [Accessed 05 Marzo 2018].
- [12] M. Clarke, "Learn more about the Android Studio IDE from Google," [Online]. Available: <http://searchsoftwarequality.techtarget.com/feature/Learn-more-about-the-Android-Studio-IDE-from-Google>. [Accessed 06 Marzo 2018].
- [13] Adobe Systems Incorporated, "PDF: tres letras que cambiaron el mundo," [Online]. Available: <https://acrobat.adobe.com/la/es/acrobat/about-adobe-pdf.html>. [Accessed 06 Marzo 2018].
- [14] I. Sánchez, "Tema 3: Lenguaje ensamblador," [Online]. Available: <http://www.esi.uclm.es/www/isanchez/eco0910/ensambla.pdf>. [Accessed 23 Junio 2018].
- [15] Á. Candelaria, "Repeticiones en la Escritura Musical, Parte II," 2015. [Online]. Available: <https://angelsguitar.com/repeticiones-en-la-escritura-musical-parte-ii/>. [Accessed 4 Diciembre 2017].
- [16] J. Hurtado Barrera, *Metodología de la Investigación Holística*, Fundación Sypal, 1998, pp. 139-140.