

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



**SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE DISPOSITIVOS
ELECTRÓNICOS AUTOMATIZADOS CON ANDROID Y
ARDUINO A TRAVÉS DE BLUETOOTH**

Tesis presentada por el Bachiller:
MEJÍA GARCÍA LUIS CARLOS

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE SISTEMAS

AREQUIPA - PERÚ

2016

Presentación

Señora Directora del Programa Profesional de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Católica de Santa María.

Señores Miembros del Jurado Dictaminador.

De conformidad con las disposiciones del reglamento de Grados y Títulos del Programa Profesional de Ingeniería de Sistemas, pongo a vuestra consideración el presente trabajo de investigación titulado: “SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS AUTOMATIZADOS CON ANDROID Y ARDUINO A TRAVÉS DE BLUETOOTH”, el mismo que de ser aprobado me permitirá obtener el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

Luis Carlos Mejía García

Índice

Presentación	2
Índice.....	3
Índice de Tablas.....	8
Índice de Figuras	9
Resumen	12
Abstract	13
Introducción.....	14
Capítulo 1	
Planteamiento Teórico	16
<i>1.1 Título Descriptivo</i>	16
<i>1.2 Definición del Problema.....</i>	16
<i>1.3 Objetivos.....</i>	16
1.3.1 General.....	16
1.3.2 Específicos.....	17
<i>1.4 Justificación.....</i>	17

<i>1.5 Alcances</i>	18
<i>1.6 Limitaciones</i>	18
<i>1.7 Línea y Sublíneas de Investigación</i>	18
<i>1.8 Tipo de Investigación</i>	19
<i>1.9 Nivel de Investigación</i>	19

Capítulo 2

Fundamentos Teóricos20

<i>2.1 Estado del Arte</i>	20
<i>2.1 Marco Conceptual</i>	25
2.1.1 Automatización.....	25
2.1.2 Inmótica	28
2.1.3 Tecnologías para la Automatización	31
2.1.3.1 X10.....	32
2.1.3.2 ZigBee.....	34
2.1.3.3 Arduino	37
2.1.3.4 Wi-Fi.....	40
2.1.3.5 Bluetooth.....	43

Capítulo 3

Costos de Implementación47

3.1 Maestro y Puentes..... 47

3.1.1 Tablero Arduino 47

3.1.2 Módulo Bluetooth..... 48

3.2 Dispositivo Móvil 49

Capítulo 4

Presentación de los Datos.....51

4.1. Personalización..... 51

4.1.1 Interacción indirecta con un sistema 51

4.1.1.1 Sistemas comerciales..... 52

4.1.2 Interacción directa con un sistema..... 53

4.2. Control 54

4.2.1 Appcesorios 54

4.2.1.1 Sistemas comerciales..... 55

4.3. Posicionamiento..... 56

4.3.1 Protección contra pérdida o robos 56

4.3.1.1 Sistemas comerciales..... 57

4.3.2	Balizas Bluetooth.....	58
4.3.2.1	<i>Sistemas comerciales</i>	59

Capítulo 5

Análisis y Discusión de los Datos.....61

5.1	<i>Tipos de Funciones</i>	61
5.1.1	Control.....	61
5.1.2	Posicionamiento.....	62
5.2	<i>Bluetooth como medio</i>	64

Capítulo 6

Descripción del Sistema68

6.1	<i>Repositorio en línea</i>	68
6.2	<i>Maestro Arduino</i>	72
6.3	<i>Puente Arduino</i>	74
6.4	<i>Aplicación móvil</i>	75
6.4.1	Módulos sin interfaz.....	75
6.4.1.1	<i>Módulo de Bluetooth</i>	76
6.4.1.2	<i>Módulo de servicio web</i>	77

6.4.2	Módulos con interfaz	78
6.4.2.1	<i>Módulo de maestros</i>	78
6.4.2.2	<i>Módulo de dispositivos</i>	82
6.4.2.3	<i>Módulo de control</i>	83
6.4.2.4	<i>Módulo de posicionamiento</i>	84
Conclusiones		87
Recomendaciones		89
Referencias Bibliográficas		91
Anexo A		
Glosario de Términos		95

Índice de Tablas

Tabla 01: Detalle de modelos Arduino y comparación de precios de tableros oficiales con tableros hechos por terceros. Fuente: Elaboración propia.....	48
Tabla 02: Comparación de precios entre uno de los módulos Bluetooth más complejos del mercado y el módulo más simple. Fuente: Elaboración propia.....	48
Tabla 03: Comparación de precios de teléfonos celulares de gama baja de los fabricantes más conocidos. Fuente: Elaboración propia.....	49
Tabla 04: Comparación de tecnologías inalámbricas. Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 05: Estados del puente Arduino y las distintas instrucciones que puede recibir en cada uno de ellos. Fuente: Elaboración propia.....	74
Tabla 06: Estructura básica del funcionamiento del puente Arduino. Fuente: Elaboración propia.....	75
Tabla 07: Distintos eventos que generan publicaciones y mensajes enviados por el módulo Bluetooth. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 08: Distintos eventos que generan publicaciones y mensajes enviados por el módulo de servicio web. Fuente: Elaboración propia.....	78

Índice de Figuras

Figura 01: Implementación común de un sistema de automatización en un hogar. Fuente: ZigBee Home Automation (The ZigBee Alliance, 2015)	26
Figura 02: Funcionamiento general de un sistema de automatización de edificios. Fuente: LOBOS for Building Automation (Enerliance, 2015)	29
Figura 03: Componentes básicos de un sistema X10 (interruptor, control remoto, módulo de control, tomacorrientes). Fuente: X10 Home Automation (X10, 2015).....	33
Figura 04: Topología de una red ZigBee. Fuente: ZigBee Home Automation (The ZigBee Alliance, 2015)	36
Figura 05: Arduino Uno R3, producto bandera de Arduino. Fuente: Arduino Board Uno (Arduino, 2015)	38
Figura 06: Características importantes de la tecnología Wi-Fi. Fuente: Connect Your Life (Wi-Fi Alliance, 2015)	42
Figura 07: Estructura de comunicación de la tecnología Bluetooth. Fuente: Bluetooth Technology Basics (Bluetooth, 2015)	44
Figura 08: Distribución mundial de sistemas operativos en teléfonos móviles para la primera mitad del año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 09: Funcionamiento básico del control de un dispositivo conectado a un puente. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 10: Funcionamiento básico del posicionamiento de un dispositivo maestro. Fuente: Elaboración propia.....	63

Figura 11: Tiempos promedio de respuesta según el número enviado de caracteres del módulo Bluetooth. Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 12: Tiempos de respuesta del envío de 1000 caracteres en 10 repeticiones desde 1 hasta 6 metros. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 13: Diagrama de las tablas y relaciones utilizadas por el repositorio. Fuente: Elaboración propia.....	69
Figura 14: Mensaje JSON con el identificador del dispositivo enviado a las funciones del servicio web. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 15: Respuesta dada por el repositorio al consultar por la información del dispositivo con identificador “0”. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 16: Respuesta dada por el repositorio al consultar por las funciones del dispositivo con identificador “0”. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 17: Secuencia de comandos que forman parte del apretón de manos necesario para conectarse a un dispositivo maestro e iniciar la comunicación. Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 18: Pantalla principal de la aplicación mostrando un dispositivo maestro cercano encontrado. Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 19: Mensaje de progreso mostrado al tratar de conectarse al maestro seleccionado. Fuente: Elaboración propia.....	80

Figura 20: Pantalla principal mostrando la conexión exitosa a un maestro válido y la carga del número de dispositivos obtenida del listado recibido. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 21: Listado de puentes conectados al maestro seleccionado y carga de información de cada uno desde el repositorio. Fuente: Elaboración propia.....	82
Figura 22: Comandos disponibles para el dispositivo Door. Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 23: Confirmación simple del puente después de haber recibido un mensaje. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 24: Estado inicial de la gráfica que muestra las ubicaciones del dispositivo maestro y el dispositivo móvil. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 25: Gráfica actualizada mostrando la distancia aproximada del dispositivo móvil al maestro. Fuente: Elaboración propia.....	86

Resumen

Hoy en día, las tecnologías inalámbricas facilitan nuestras vidas al dejarnos hacer una infinidad de cosas desde la comodidad de nuestros dispositivos móviles, desde hacer llamadas a cualquier parte del mundo hasta controlar remotamente nuestras cuentas bancarias y hacer pagos sin importar dónde nos encontremos.

Cuando se quiere aprovechar esta comodidad para hacer uso de otros dispositivos electrónicos, el procedimiento a seguir normalmente implica adquirirlos de un fabricante específico, instalar una aplicación dedicada hecha por el mismo fabricante, y comunicarse con los dispositivos a través de mensajes que sólo pueden ser entendidos por éstos. Si se desea automatizar un ambiente, al ser propietarias las alternativas de hardware y software, se limita a los usuarios a utilizar dispositivos y programas de un solo fabricante. Con la gran variedad de objetos a los que se puede aplicar algún tipo de automatización, las tecnologías se dividirían fácilmente en grupos comunes lo que dificultaría el uso generalizado por parte de los usuarios.

Por esta razón se propone un sistema que consiga integrar esta variabilidad de tecnologías en una sola entidad que mejore y facilite la interacción y el uso de los dispositivos automáticos por parte de los usuarios al introducir un intermediario constituido por un maestro central y puentes que se comuniquen con los distintos objetos traduciendo un conjunto de instrucciones simplificadas a los comandos que espere cada uno.

Palabras clave: Android, Arduino, Automatización, Bluetooth.

Abstract

Nowadays, wireless technologies facilitate our lives by letting us do countless things from the comfort of our mobile devices, from making calls to any part of the world, to controlling remotely our bank accounts and make payments regardless of where we may be.

When one wants to take advantage of this comfort to make use of other electronic devices, the common procedure to follow involves acquiring them from a specific manufacturer, installing a dedicated application made by the same maker, and communicating with the devices through messages that can only be understood by them. If one wants to automate an environment, by having only proprietary alternatives of hardware and software, the users are limited to use devices and programs of a single manufacturer. With the big variety of objects that can have some kind of automation applied, technologies would easily split up in common groups and this would make a widespread use by the users a lot more difficult.

For this reason, a system is proposed that successfully integrates the variability of technologies in a single entity that improves and facilitates the interaction and use of the automated devices by the users, by introducing an intermediary consisting of a central master and bridges that communicate with the different objects by traducing a simplified set of instructions to the commands that each of them expects.

Keywords: Android, Arduino, Automation, Bluetooth.

Introducción

En los últimos años, al volverse común el estudio de la automatización, los esfuerzos para mejorarla se han enfocado principalmente en mejorar el rendimiento energético y económico de los sistemas y en facilitar su uso con técnicas que buscan:

- Ahorro de energía al utilizar protocolos eficientes (Baraka K., Ghobril M., Malek S, 2013).
- Costos mínimos al buscar componentes de precios bajos (Infantes J., 2012).
- Instalación en cualquier tipo de entorno (El Shafee A., Alaa K., 2012).
- Mejor usabilidad para personas sin ningún conocimiento tecnológico (Javale D., Mohsin M., Nandanwar S., Shingate M., 2013).

Estas características se pueden implementar fácilmente al hacer uso de tecnologías inalámbricas, las que permiten la interacción indirecta de los usuarios con un sistema, capacidad muy importante para lograr un monitoreo constante que facilite el control de calidad y la implementación de mejoras basada en el análisis de los puntos débiles en tiempo real, y que simplifica el papel del usuario al interactuar con los sistemas. También hacen posible la integración de distintos dispositivos sin que éstos tengan algún tipo de especialización, de forma que cualquier dispositivo inalámbrico puede cumplir un sinnúmero de funciones sin recibir cambios físicos. El sistema propuesto buscará hacer uso de las distintas ventajas que brindan estas tecnologías, e incrementar la utilización de la automatización al conseguir una comunicación con los dispositivos móviles de cualquier usuario.

Este trabajo de investigación se divide en las siguientes partes:

- El Estado del Arte (Capítulo 1) describe múltiples esfuerzos para aplicar tecnologías inalámbricas en sistemas de automatización y hace comparaciones con las tecnologías cableadas para escoger la mejor en cada caso.
- Las Bases Teóricas (Capítulo 2) explican los conceptos utilizados a lo largo del documento como distintas tecnologías inalámbricas y plataformas móviles que pueden ser utilizadas con ellas.
- El Estudio Económico (Capítulo 3) hace un análisis acerca de los costos de obtención de los maestros, puentes, y teléfonos móviles requeridos para la implementación del sistema de integración.
- La Presentación de los Datos (Capítulo 4) describe sistemas existentes tratando de agruparlos en tipos comunes según los roles que cumplen y con los que sería posible una integración.
- El Análisis y Discusión de los Datos (Capítulo 5) demuestra la utilización de las características definidas al separar los dispositivos en grupos comunes como base para la implementación del sistema.
- La Descripción del Sistema (Capítulo 6) explica y demuestra todas las tareas que el sistema puede desempeñar desde el punto de vista de la aplicación móvil con los distintos dispositivos que pudieran conectarse.
- Las Conclusiones presentan las ideas finalizadas y los conocimientos nuevos aprendidos con el trabajo realizado.

Capítulo 1

Planteamiento Teórico

1.1 Título Descriptivo

“Sistema de integración de dispositivos electrónicos automatizados con Android y Arduino a través de Bluetooth”

1.2 Definición del Problema

Las alternativas más comunes de hardware y software para la automatización de un ambiente son propietarias, limitando a los usuarios a utilizar dispositivos y programas de un solo fabricante. Con la gran variedad de objetos a los que se puede aplicar algún tipo de automatización, las tecnologías se dividirían fácilmente en grupos separados, lo que dificultaría el uso generalizado por parte de los usuarios. Es necesario integrar esta variabilidad de tecnologías en una sola entidad que mejore y facilite la interacción y el uso de los dispositivos automáticos por parte de los usuarios.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Desarrollar un sistema de integración de dispositivos electrónicos con dispositivos móviles Android y tableros Arduino a través de la tecnología Bluetooth.

1.3.2 Específicos

- Investigar sobre las aplicaciones de Arduino como plataforma de automatización de objetos de uso cotidiano.
- Investigar sobre el uso de Bluetooth en la comunicación de periféricos con dispositivos móviles.
- Investigar sobre los costos de implementación de Bluetooth y Arduino para integrar un dispositivo con el sistema y hacer posible su uso a través de Android.
- Demostrar la viabilidad de las tecnologías inalámbricas como medio para la interacción con dispositivos automatizados.
- Implementar un mecanismo de comunicación entre los dispositivos y el usuario que permita un uso integrado de los objetos disponibles.

1.4 Justificación

Una tecnología a la que ya casi todos tienen acceso a través de sus teléfonos celulares es Bluetooth, que facilita la transferencia de datos a corto alcance y que sólo requiere la paridad entre los dispositivos conectados para realizarla. Además, posee un valor monetario menor al de la tecnología Wi-Fi y no necesita ninguna instalación más que su incorporación en los objetos a utilizar. Lo más apropiado sería adaptar esta facilidad de conexión, para brindar la capacidad de utilizar automáticamente los aparatos electrónicos en el entorno cercano de las personas presentes para satisfacer sus necesidades.

1.5 Alcances

- Se buscará facilitar la automatización de objetos electrónicos a los que tendrá acceso cualquier persona que se encuentre cerca, a través de un dispositivo maestro y múltiples puentes compuestos por tableros Arduino, un repositorio ubicado en la nube, y una terminal en la forma de una aplicación para dispositivos Android.
- Los puentes podrán interactuar con cualquier tipo de dispositivo y enviar toda forma de mensajes sin mostrar distinciones, simplificando el uso de los dispositivos por parte de los usuarios.

1.6 Limitaciones

- La aplicación sólo podrá ser utilizada en dispositivos que cuenten con el sistema operativo Android y tecnología Bluetooth.
- El sistema sólo se incorporará a aparatos que interactúen físicamente con los usuarios a través de botones o controles.

1.7 Línea y Sublíneas de Investigación

Redes y Telemática:

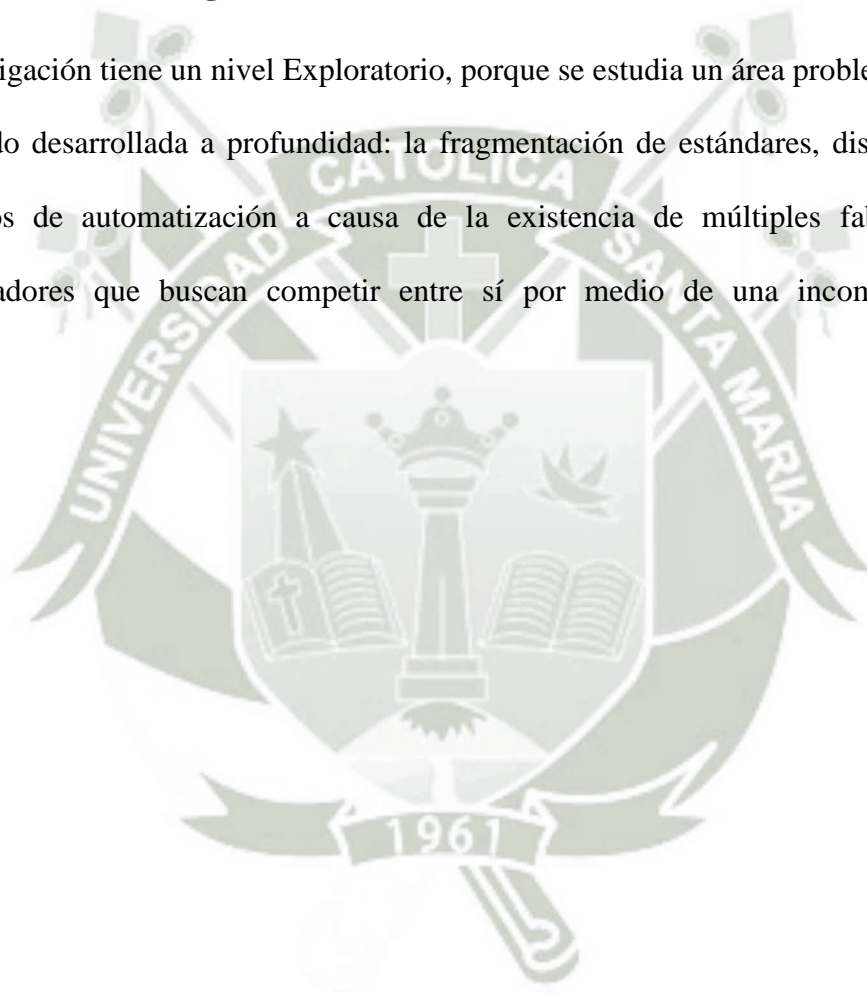
- Redes Ad-hoc y de sensores.
- Redes de comunicación en tiempo real.
- Tecnologías y protocolos para redes inalámbricas.
- Aplicaciones y servicios móviles.

1.8 Tipo de Investigación

La investigación es del tipo Aplicada, porque busca resolver un problema práctico del día a día al utilizar tecnologías existentes: la segregación innecesaria y difícil utilización unificada de dispositivos electrónicos en un entorno automatizado.

1.9 Nivel de Investigación

La investigación tiene un nivel Exploratorio, porque se estudia un área problemática que no ha sido desarrollada a profundidad: la fragmentación de estándares, dispositivos y protocolos de automatización a causa de la existencia de múltiples fabricantes y desarrolladores que buscan competir entre sí por medio de una incompatibilidad forzada.



Capítulo 2

Fundamentos Teóricos

2.1 Estado del Arte

Se han realizado múltiples esfuerzos para migrar la automatización al uso de tecnologías inalámbricas, primero que todo por la considerable reducción de costos de instalación, y segundo por la incrementada libertad y facilidad de uso que se brinda al usuario. Gracias a estas características es posible aplicar la automatización a cualquier tipo de entorno, con la visión de un mundo con computación ubicua, en la que los ordenadores nos ayuden en casi todas las tareas diarias sin que interactuemos directamente con ellos.

Kim Baraka, Marc Ghobril y Sami Malek (2013), *Low-cost Arduino/Android-based Energy-Efficient Home Automation System with Smart Task Scheduling*: Implementa un sistema de control remoto de un hogar inteligente con un uso eficiente de energía, utilizando la tecnología Zigbee como protocolo (garantía y seguridad), tabletas con el sistema operativo Android como clientes (bajo costo y gran accesibilidad), un microcontrolador Arduino para recibir y distribuir los comandos del usuario (bajo costo y gran compatibilidad), y dispositivos X10 como medio de automatización (gran variedad y componentes de bajo costo). Mediante el uso de sensores que reciben información del entorno, se logra un monitoreo en tiempo real del hogar, brindando datos acerca del uso de energía de cada componente y permitiendo optimizar la utilización de la misma a través de un algoritmo que programa diversas tareas optimizadas según el estilo de vida del usuario, consiguiendo un balance en el consumo de energía de cada área de su hogar. En este trabajo se puede apreciar una exitosa

integración de múltiples tecnologías para conseguir un bien superior, utilizando sólo los puntos fuertes de cada una sin que la funcionalidad perdida afecte al producto final, y escogiendo el producto que más convenga para cada tarea a realizar, logrando un costo total muy reducido y todas las ventajas específicas de cada área del sistema, cosas que normalmente vendrían también con desventajas.

Deepali Javale, Mohd Mohsin, Shreerang Nandanwar y Mayur Shingate (2013), *Home Automation and Security System Using Android ADK*: Propone el diseño de un sistema de automatización del hogar utilizando el kit de desarrollo de accesorios (ADK) de Android, que pueda ser controlado por medios lo más variados posibles, como la línea telefónica, la web, o el reconocimiento de comandos de voz. Así se logra una mayor accesibilidad para personas sin conocimientos previos de estas tecnologías, o que sufran de alguna discapacidad que no les permita utilizar adecuadamente las terminales convencionales. Utiliza un microcontrolador Arduino como centro del sistema, que recibe los mensajes de todos los dispositivos automáticos del hogar, implementa un sistema de autenticación para prevenir el uso por parte de personas no autorizadas, y es controlado por medio de teléfonos o tabletas con el sistema operativo Android. Aquí se puede apreciar una infraestructura que, por más de ser muy básica no deja a lado ninguna funcionalidad presente en sistemas de automatización más complejos. También se demuestra la variedad de medios de comunicación que se pueden utilizar para enviar los comandos a los distintos dispositivos, siempre existiendo una alternativa cuando se requiera hacer uso del sistema y facilitando el acceso a todo tipo de usuarios sin importar sus antecedentes tecnológicos.

Ahmed El Shafee y Karim Alaa Hamed (2012), *Design and Implementation of a Wi-Fi Based Home Automation System*: Ofrece una alternativa a los sistemas de automatización convencionales que se basan en comunicaciones cableadas, y no presentan ningún problema mientras se hayan planificado antes e instalado durante la construcción de los edificios que automatizan. Los sistemas inalámbricos permiten reducir casi por completo los costos de instalación, facilitan el alcance y la escalabilidad del sistema, no se interponen en ninguna necesidad estética o de conservación de los edificios, e integran dispositivos móviles al sistema incrementando las posibilidades de utilización, siendo aplicables tanto en instalaciones nuevas como en mejoras de instalaciones ya existentes. Este trabajo demuestra la gran cantidad de ventajas que trae el uso de tecnologías inalámbricas para la implementación de sistemas automáticos. Ya que estos sistemas se basan en comunicaciones sencillas, no necesitan de las características más importantes que ofrece el cableado, como el ancho de banda y la rapidez de respuesta, y como la mayoría de edificios construidos con automatización en mente son empresariales, se consigue hacer alcanzable la aplicación de la domótica en cualquier tipo de hogar sin importar su antigüedad o estructura, incrementando el número de usuarios interesados

Juan Antonio Infantes Díaz (2012), Tesis de Bachillerato, *Wireless Sensor Networks Controlled with PIC Microcontrollers and Zigbee Protocol*: Presenta una solución para añadir personalización y mejorar la seguridad y funcionamiento de los sistemas automáticos basados en estándares propietarios, utilizando al protocolo Zigbee para la comunicación, distintos tipos de microcontroladores como Arduino y derivados para actuar de puentes entre los dispositivos automáticos ya existentes y el nuevo sistema, y

un software de automatización ya existente que se conecta fácilmente y administra a los controladores, al que se puede acceder a través de la web. Así se logran eliminar los problemas presentes en la comunicación con cableado y se incrementan las posibilidades de los componentes ya existentes. En este documento se demuestra que el uso de controladores programables de bajo costo como intermediarios entre un nuevo sistema y dispositivos ya presentes, puede hacer que el sistema de automatización sea lo más cercano posible a las necesidades de cada usuario, vuelve posible la utilización de tecnologías inalámbricas en un sistema ya implementado, y permite la integración con interfaces de código abierto ya existentes modeladas según las opiniones de cientos de usuarios que las utilizan y desarrollan.

N. Sriskanthan, F. Tan y A. Karande (2002), *Bluetooth Based Home Automation System*: Propone la utilización de Bluetooth para la comunicación entre los dispositivos de un sistema de automatización del hogar. Esta tecnología tiene un costo inferior, ofrece un ancho de banda suficiente, logra tiempos de respuesta casi instantáneos y brinda alcances aceptables para casi cualquier tipo de hogar, lo que la hace una alternativa factible. El sistema es controlado por un anfitrión que se comunica con los dispositivos del hogar mediante un protocolo que se encarga de la búsqueda de dispositivos inicial y periódica manteniendo una tabla de dispositivos en tiempo real, el envío de paquetes con las diversas órdenes según cada dispositivo, y las confirmaciones para cada una de estas transmisiones. Para el control de la conexión de los módulos Bluetooth, el protocolo también es capaz de cambiar los estados de los mismos según la etapa de conexión en la que se encuentren. Aquí se puede apreciar una implementación avanzada de comunicación mediante la tecnología Bluetooth. Utilizando un protocolo

por encima de los mensajes enviados por los módulos, es posible conseguir funcionalidad extra como seguridad y monitoreo constante, además de automatizar el control de los múltiples dispositivos por parte del anfitrión.

F. Rodrigues, C. Cardeira y J. Calado (2010), *The Impact of Wireless Sensors in Buildings Automation*: Presenta un estado del arte detallado sobre las ventajas y desventajas de la automatización de edificios a través de tecnologías inalámbricas. Las ventajas más importantes son: la inmensa reducción de costos de instalación y mantenimiento de cableado, el uso de energía reducido por parte de los módulos inalámbricos gracias a la fabricación estandarizada con componentes semiconductores de bajo consumo, y una fácil reconfiguración y escalabilidad que depende casi completamente de la arquitectura de software con la que se implemente el sistema. Dependiendo de situaciones específicas pueden ser consideradas entre las desventajas: la energía limitada que brindan las baterías si es que se busca una máxima flexibilidad, la fácil interferencia de las señales por parte de grandes objetos físicos como edificios con una gran cantidad de pasillos, y la posible intercepción de las ondas inalámbricas por parte de terceros si es que las comunicaciones incluyeran información confidencial o delicada. Este artículo presenta de manera clara todas las consideraciones que hay que tener si es que se desea adquirir o implementar tecnologías inalámbricas en cualquier proyecto de automatización, facilitando grandemente el análisis de factibilidad y permitiendo que las personas ajenas a la implementación también se informen antes de realizar una inversión.

2.1 Marco Conceptual

Se han realizado múltiples esfuerzos para migrar la automatización al uso de tecnologías inalámbricas, primero

2.1.1 Automatización

Para entender mejor los conceptos de automatización de edificios y hogares, es necesario conocer el significado de la palabra automatización y sus orígenes. El término *automatización* se origina de *automático*, que significa que algo es capaz de operar sin ningún control o intervención externa, y empieza a ser utilizado ampliamente gracias a la adopción de métodos automáticos para la fabricación de automóviles. La aceptación y aplicación a nivel global de la automatización indica el inicio de una tercera revolución industrial (Rifkin, 1995), siendo la primera la generada por el desarrollo del vapor como fuente de energía, y la segunda gracias al uso del petróleo en lugar del carbón y a la extensa adopción de la electricidad como fuente de poder.

La automatización es el uso de distintos sistemas de control para operar equipos como la maquinaria de las fábricas, las redes de telefonía y el manejo de medios de transporte, reduciendo o hasta desapareciendo por completo la participación humana. La mayor ventaja que trae es la reducción de mano de obra requerida, y también ayuda a ahorrar energía y materiales y a mejorar la calidad al incrementar la precisión y exactitud de los procesos (Cram101 Textbook Reviews, 2014). La automatización puede lograrse a través de distintos medios, como mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos, y electrónicos. Los sistemas más complicados, como las fábricas modernas y los aviones

y barcos, pueden hacer uso de todos estos medios combinados. En el caso de sistemas más sencillos, como los de un hogar automatizado, se brinda seguridad a través de cámaras y sensores, y se controlan objetos que requerirían un esfuerzo físico para utilizarse, como ventanas y puertas (Figura 01).

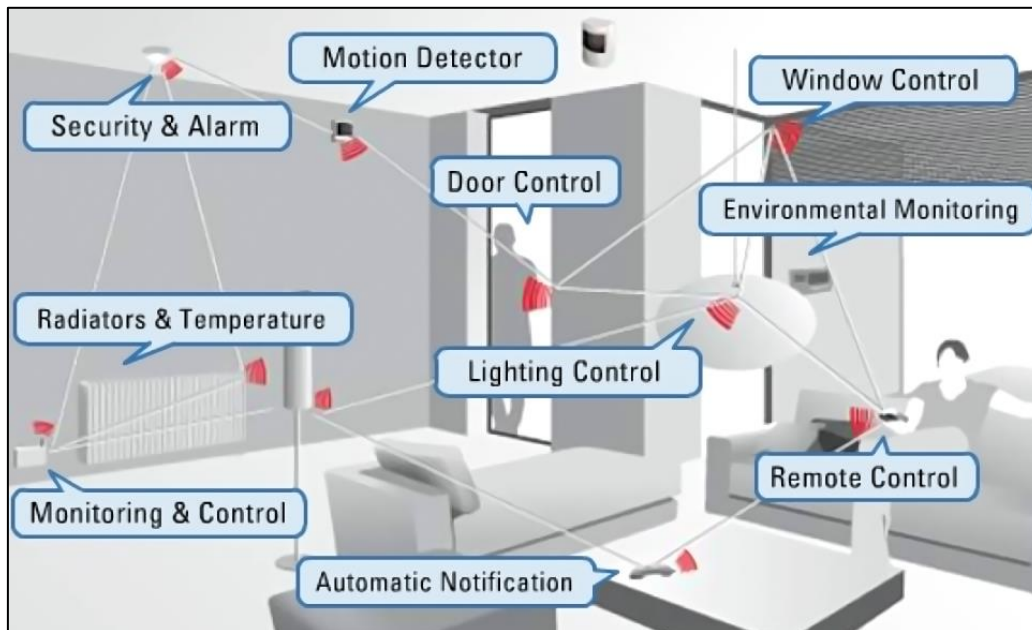


Figura 01: Implementación común de un sistema de automatización en un hogar.

Fuente: ZigBee Home Automation (The ZigBee Alliance, 2015)

Existen dos tipos básicos de automatización (K. L. S. Sharma, 2011):

- **De control discreto:** El sistema recibe señales de encendido y apagado para controlar los aparatos que tiene conectados, también se pueden agregar controles para la intensidad con la que se moverán ciertas partes y se pueden programar secuencias a seguir según las señales, como el caso de un ascensor.
- **De control continuo:** El sistema recibe una medida como señal, la compara con valores predeterminados y si existe una anomalía, indica el problema a su operador

(bucle abierto), o envía de vuelta una corrección tras hacer los cálculos necesarios (bucle cerrado) y sigue una secuencia predeterminada de pasos según estos cálculos.

Entre las ventajas y desventajas de la automatización se encuentran (Hydrocarbon Asia, 2013):

Ventajas:

- **Incremento de productividad:** Automatizando las operaciones para reducir tiempo, y reemplazando a los trabajadores en tareas realizadas bajo condiciones peligrosas o de alto estrés.
- **Mejora de calidad:** Automatizando tareas que requieren de un alto nivel de exactitud, y reemplazando a los trabajadores en tareas monótonas o que requieran gran esfuerzo físico.
- **Mejora de consistencia de los productos y procesos:** Proveyendo sólo tareas de alto nivel a los operadores como despliegue, mantenimiento y ejecución de los procesos automatizados.
- **Reducción de costos en labor humana:** Liberando a los trabajadores para que puedan tomar otros roles, y disminuyendo el número de personas necesarias para realizar una tarea.

Desventajas:

- **Incremento de vulnerabilidad a amenazas:** Al tener inteligencia limitada, es más susceptible a cometer errores fuera de su rango de conocimiento.

- **Costos de desarrollo impredecibles y excesivos:** El costo de investigación y desarrollo de la automatización de un proceso puede exceder al costo reducido por la misma.
- **Costo inicial alto:** La automatización de un producto o planta requiere una gran inversión inicial en comparación al costo unitario del producto.

2.1.2 Inmótica

Al aplicar el concepto de automatización a la mejora de calidad de vida de las personas dentro de un edificio, se crea la inmótica, la que además de aumentar la comodidad de los individuos presentes, también facilita el trabajo del personal de administración y seguridad del mismo, y puede reducir considerablemente los costos de energía y operación.

La inmótica es el control centralizado de los sistemas de un edificio como ventilación, calefacción, alumbrado y seguridad, a través de un sistema computarizado (Figura 02). Funciones básicas de estos sistemas son: brindar iluminación dependiendo de las personas presentes en una habitación, mantener la temperatura en un determinado rango, monitorear el desempeño y las fallas de todos los sistemas, e informar las fallas a los encargados de mantenimiento (KMC Controls, 2012). Los edificios controlados por sistemas automáticos son llamados Edificios Inteligentes, usando comúnmente programas y protocolos dedicados a funciones específicas sin enfocarse en la integración entre ellos.

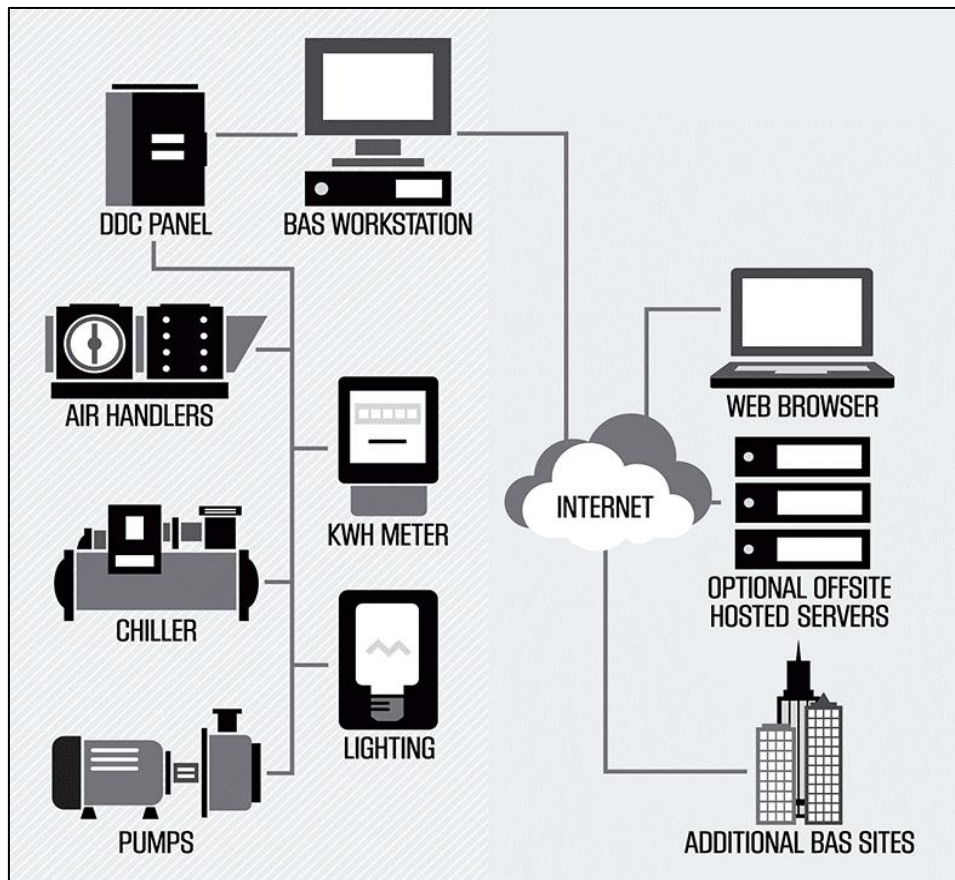


Figura 02: Funcionamiento general de un sistema de automatización de edificios.

Fuente: LOBOS for Building Automation (Enerliance, 2015)

El mercado de dispositivos de automatización está dominado por hardware propietario, donde cada compañía tiene sus propios controladores para cada aplicación, los que normalmente no podrán integrarse o presentarán problemas al operar juntos. Actualmente, cada vez más sistemas de automatización de edificios tratan de brindar interoperabilidad a nivel de aplicación, permitiendo a los usuarios combinar dispositivos de diferentes fabricantes e incluso integrar distintos sistemas entre sí (Hoyle B., 2011).

Entre las entradas y salidas que puede recibir y enviar un sistema de automatización de edificios se encuentran (Sharma Y., 2011):

Analógicas:

- Las entradas analógicas sirven para la medición de variables, como el control de la temperatura través de termómetros.
- Las salidas analógicas controlan la velocidad o posición de un dispositivo, como el control de una válvula para mantener un determinado valor de presión.

Digitales:

- Las entradas digitales indican si un dispositivo está encendido o apagado, o el estado actual del mismo, como el control del flujo una turbina.
- Las salidas digitales sirven para cambiar el estado de interruptores y abrir o cerrar vías de comunicación, como encender las luces de una habitación si no tiene iluminación adecuada.

Según XINCA Tech Services Limited (XINCA, 2014), todo edificio inteligente necesita tres elementos clave:

- Una red de comunicaciones y trabajo de oficina automatizado:

Los sistemas pueden incluir tareas con un alto porcentaje de error humano, por lo que deben estar automatizadas a través de un sistema de inteligencia de negocios. Para asegurar que el entorno de trabajo es uno solo, se debe poder realizar llamadas y enviar correos u otros tipos de mensajes a través de la red de alta velocidad del edificio.

- Un sistema de administración de edificios:

El sistema de administración debe controlar a tres subsistemas: un sistema de automatización del edificio, que centralice el control remoto de todos los recursos del edificio, un sistema de automatización de seguridad, que provea un entorno seguro y proteja a los inquilinos de agentes externos, y un sistema de automatización contra emergencias, que tenga una red independiente y funcione constantemente para poder responder a tiempo a cualquier crisis.

- Una infraestructura de servicios integrada:

Todos los servicios de baja tensión, como redes telefónicas y de envío de datos, deben funcionar a través de una plataforma común, para evitar tener que instalar cableado nuevo en cada etapa de construcción del edificio, y ayudando al control y monitoreo de los servicios.

2.1.3 Tecnologías para la Automatización

Existen muchas opciones a la hora de elegir hardware y software para realizar la automatización, desde programas y dispositivos dedicados a actividades específicas, hasta tecnologías libres que permiten una gran personalización en todos sus aspectos.

Entre las tecnologías más difundidas se encuentran:

2.1.3.1 X10

Una de las opciones más conocidas en hardware es X10, que es un protocolo de comunicación que utiliza el cableado de energía eléctrica de un edificio para el control y el envío de señales, donde las señales implican la transmisión de pulsos cortos o frecuencias de radio que representan información digital (X10, 2015). Fue la primera tecnología de redes de domótica de uso general, y hoy en día es una de las más usadas y disponibles. Los datos digitales transmitidos consisten en una dirección y un comando enviado desde un controlador hacia un dispositivo controlado. Controladores más sofisticados permiten solicitar el estado a dispositivos igualmente avanzados, estos estados pueden ser simples como encendido o apagado, o el nivel de brillo, o la lectura de algún sensor.

Ya sea usando la línea eléctrica o señales de radio, los paquetes transmitidos consisten de un código de casa de cuatro bits seguido por uno o más códigos de unidades también de cuatro bits. El código de casa se selecciona como una letra desde A hasta P, y los códigos de unidades son números del 1 al 16. Cuando se instala el sistema, cada uno de los dispositivos controlados es configurado para responder a una de las 256 direcciones disponibles, cada dispositivo reacciona a los comandos dirigidos específicamente a éste, o a comandos dirigidos a todos los dispositivos. Los componentes más económicos sólo reciben comandos y no confirman su estado al resto de la red (Figura 03). Dispositivos controladores de dos vías permiten una red más robusta pero sus precios crecen desde dos hasta cuatro veces más y requieren componentes también de dos vías.



Figura 03: Componentes básicos de un sistema X10 (interruptor, control remoto, módulo de control, tomacorrientes).

Fuente: X10 Home Automation (X10, 2015)

Entre las desventajas de X10 se encuentran:

- Interferencia:

Las señales eléctricas pueden ser atenuadas por otros dispositivos electrónicos conectados directamente cerca de los componentes que se quieran controlar. Aparatos inalámbricos también pueden interferir con los comandos enviados causando ruido en las señales.

- Pérdida de comandos:

Las señales sólo pueden ser transmitidas una por vez, y si se transmiten dos al mismo tiempo, se puede ocasionar que las señales no puedan ser decodificadas, o que se efectúen operaciones incorrectas.

- Lentitud:

El protocolo tarda casi un segundo en transmitir una dirección y un comando. Este retraso se vuelve evidente cuando se utilizan dispositivos de dos vías o cuando se usa algún tipo de controlador computarizado.

- Funcionalidad limitada:

X10 implementa controles avanzados que permiten realizar tareas más sofisticadas, pero la mayoría de los módulos de menor costo sólo poseen los mensajes más básicos, lo que lleva a la necesidad de realizar un esfuerzo mayor para controlar algunas distribuciones.

- Falta de encriptación:

El protocolo sólo puede funcionar con hasta 256 dispositivos. Si dos hogares vecinos utilizan las mismas direcciones para sus componentes, podrían interferir unos con otros. También es posible causar efectos no deseados con controladores externos.

2.1.3.2 ZigBee

Usar tecnologías alámbricas presenta ciertos problemas, como la interferencia creada por otras señales enviadas por el mismo medio y la dificultad al reparar alguna vía defectuosa. Además, si se tratan de sobrellevar estas desventajas, aún está el problema de la instalación, ya que muchas veces será muy costoso instalar cableado adicional en un hogar que no se construyó originalmente con esta finalidad (Infantes J., 2012). Al buscar alternativas, especialmente a través de medios inalámbricos, se encuentra ZigBee, una tecnología inalámbrica con soporte de múltiples topologías y enfoque en un nodo principal por red, que brinda un control confiable de dispositivos, encriptación

automática, ahorro de energía, y gran variedad de módulos para conectarse a varios tipos de dispositivos como Arduino y Android.

ZigBee es una especificación de protocolos de comunicación de alto nivel, utilizado para crear redes de área personal (The ZigBee Alliance, 2015). Está basado en el estándar IEEE 802.15, y brinda un bajo consumo de energía por parte de los módulos, permaneciendo encendidos desde 6 meses hasta 2 años con sólo dos baterías AA. Está conformado por tres tipos de componentes (Figura 04):

- **Coordinador:**

Forma la raíz de la red y es único en cada red. Se encarga de enrutar los mensajes a los distintos módulos conectados y guardar información acerca de la red y las claves de seguridad usadas, y también puede servir de puente hacia otras redes.

- **Enrutador:**

Actúa como un intermediario, pasando los datos de otros dispositivos.

- **Terminal:**

Contiene solamente información necesaria para comunicarse con el nodo padre (un coordinador o un enrutador), no puede transmitir información de otros dispositivos. Estas características permiten que se encuentre en modo de espera la mayor parte del tiempo, incrementando grandemente la vida de las baterías.

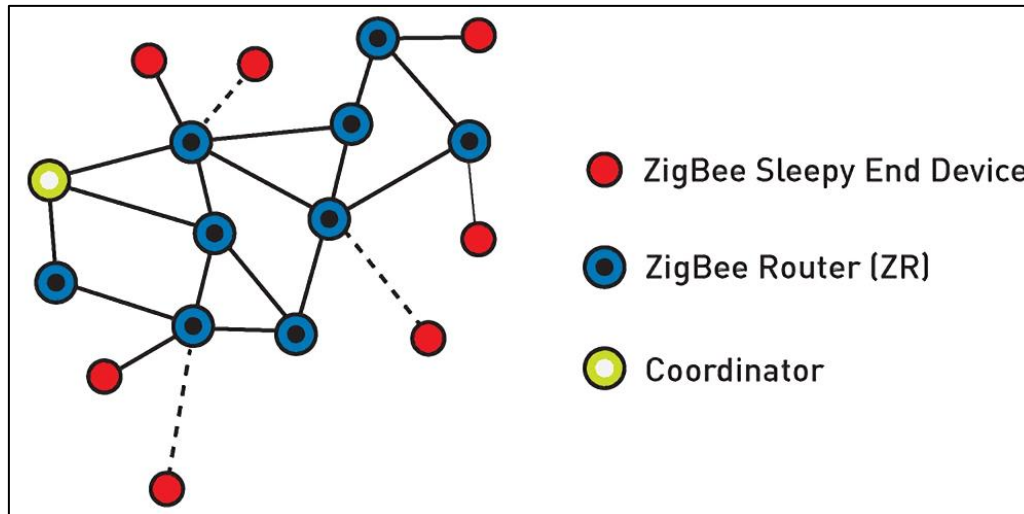


Figura 04: Topología de una red ZigBee.

Fuente: ZigBee Home Automation (The ZigBee Alliance, 2015)

Los sistemas de automatización basados en ZigBee cuentan con ventajas únicas fuera de las brindadas por otras tecnologías:

- Gestión de direcciones automática:

A cada dispositivo se le asigna una dirección y se le crea una ruta automáticamente, sin necesidad de intervención física.

- Direccionamiento por grupos:

Cada dispositivo puede pertenecer a uno o más grupos, a los que se puede enviar mensajes conjuntos.

- Recuperación de la red:

La información de cada dispositivo puede almacenarse en otros, por lo que puede ser restaurada fácilmente en caso de reemplazo sin comprometer a la red.

- Recolección centralizada de datos:

Todos los dispositivos pueden enviar reportes periódicos de su estado al nodo central, teniendo datos en tiempo real que faciliten el diagnóstico de problemas.

2.1.3.3 Arduino

Algo que se considera al momento de buscar implementar algún tipo de automatización es que no se incremente el esfuerzo necesario para realizar las tareas sin automatización, sino que se reduzca para hacer las ventajas fáciles de percibir, y que el sistema sea accesible desde cualquier dispositivo, ya sea con una interfaz dedicada, vía web por medio de un navegador o incluso a través de la línea telefónica quitando la necesidad de conectarse a la Internet, extendiendo la posibilidad de usar cualquier dispositivo móvil y no sólo aparatos electrónicos conectados o teléfonos inteligentes y tabletas (Javale D. et al., 2013).

Arduino es un tablero electrónico diseñado para hacer accesible el uso de electrónica en proyectos multidisciplinarios (Figura 05). Consiste en un microcontrolador con componentes complementarios para facilitar su programación y su uso en otros circuitos (Arduino, 2015). Al tener los conectores del procesador expuestos, se pueden incrementar sus capacidades con módulos intercambiables llamados *shields*. Los programas se escriben en C o C++ y deben incluir dos funciones necesarias para el funcionamiento: *setup()* para inicializar la configuración al comenzar el programa, y *loop()* que se llamará repetitivamente hasta que el tablero se apague. Arduino puede sentir el entorno donde se encuentra al recibir entrada de cualquier tipo de sensor que se le instale, y puede manipular sus alrededores al controlar luces, motores y otros

dispositivos. El microcontrolador es programado usando el lenguaje de programación Arduino y puede comunicarse con software ejecutándose en una computadora. Los tableros pueden ser contruidos a mano o comprados previamente ensamblados, ya sea oficialmente por Arduino o hechos por terceros, estos últimos brindando la misma calidad a costos sumamente reducidos.

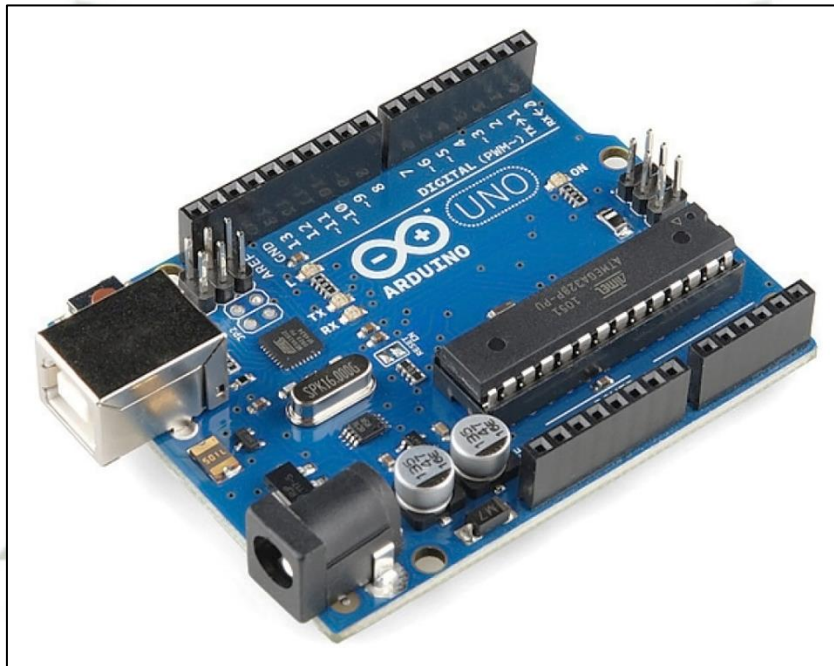


Figura 05: Arduino Uno R3, producto bandera de Arduino.

Fuente: Arduino Board Uno (Arduino, 2015)

Arduino habilita el control de cualquier aparato al que se instale, ya sea electrónico o no, y permite el control de estos aparatos a través de cualquier dispositivo al que se tenga acceso, como teléfonos móviles, controles remotos, tableros electrónicos, etc. Además, permite realizar todo tipo de proyectos, desde cosas sencillas como puertas de garaje automáticas, relojes parlantes, iluminación basada en sensores y robots seguidores de líneas; cosas algo más complicadas, como controles remotos universales,

juegos de mesa, robots simuladores, permitir el control remoto por medio de un servidor web, y seguros contra robo con múltiples medidas de seguridad; hasta cosas muy sofisticadas, como arpas láser, controladores remotos interactivos, instrumentos musicales digitales, calculadoras graficadoras, y sintetizadores electrónicos; teniendo posibilidades ilimitadas y siendo aplicable a cualquier área para satisfacer cualquier necesidad.

Entre sus ventajas se hallan:

- Listo para usar:

Los tableros Arduino poseen todos los componentes necesarios para hacer el mayor uso de su microcontrolador sin ninguna parte adicional, haciendo que el enfoque sea directamente el desarrollo del programa que se cargará sin preocuparse por problemas de compatibilidad o funcionamiento.

- Bajo costo:

Si bien los tableros oficiales poseen un precio algo elevado, la existencia de alternativas hechas por terceros hace posible una gran reducción de costos, por lo que es fácilmente aplicable a cualquier proyecto sin importar su escala o presupuesto.

- Comunidad grande y activa:

Existe una infinidad de información disponible acerca de todos los aspectos de los tableros Arduino: desde documentación completa de cada una de las funciones que pueden realizar, hasta miles de proyectos hechos por aficionados y profesionales demostrando las tareas más complejas de la que son capaces estos dispositivos.

Entre las desventajas encontramos:

- Baja eficiencia:

Algunas de las funciones implementadas en las librerías de Arduino, por la búsqueda de facilidad de uso e implementación, no son las mejores alternativas para las tareas que cumplen. Un usuario con suficiente conocimiento puede escribir métodos más efectivos sin mucha dificultad, lo que es demostrado por la existencia de algunas librerías de terceros que buscan reemplazar a las disponibles por defecto.

- Estructura:

Los tableros más utilizados, como el Arduino Uno, al tener una estructura grande que ocupa un espacio considerable, no es fácilmente aplicable a una gran parte de proyectos que buscan tener tamaños lo más pequeños posibles. Aunque la alternativa es crear un Arduino a la medida utilizando sólo el microcontrolador, esto elimina el propósito de hacer esta tecnología accesible a la mayor parte de usuarios.

2.1.3.4 Wi-Fi

Una de las desventajas de las instalaciones alámbricas es que los edificios que las usen debieron ser planeados con la automatización antes de la construcción, sino la implementación se vuelve costosa. Este problema se soluciona utilizando sistemas inalámbricos, que buscan tener disponibilidad inmediata de cualquier dispositivo que se conecte a la red, dándole al sistema la capacidad de controlar a cualquier número de dispositivos siempre y cuando estén dentro del alcance de la red (El Shafee A. et al., 2012). Entre las ventajas de las tecnologías inalámbricas se tiene un costo muy reducido

de instalación, un despliegue sencillo, una disponibilidad en muchos más lugares, una escalabilidad y extensión implícitas, y una integración con cualquier dispositivo móvil en la actualidad.

Wi-Fi es una tecnología de comunicación que permite que dispositivos electrónicos, como computadoras personales, consolas de videojuegos, teléfonos inteligentes, tabletas y reproductores de audio, intercambien datos, o se conecten a internet, a través de un punto de acceso inalámbrico, usando ondas de radio (Wi-Fi Alliance, 2014). Se basa en el estándar IEEE 802.11 y permite la conexión con cualquier dispositivo que posea un controlador de interfaz de red inalámbrica. Las transmisiones se dan en un canal único entre los dispositivos y los clientes pueden conectarse a Internet a través de puntos de acceso configurados especialmente para esta tarea. Se puede encontrar cobertura en muchas partes de mundo, con organizaciones y negocios brindando el servicio muchas veces sin costo alguno. La conexión inalámbrica es menos segura que la cableada, ya que un intruso no necesita conectarse físicamente, por lo que se han aplicado múltiples tecnologías de encriptación para prevenir el uso no deseado de los puntos de acceso.

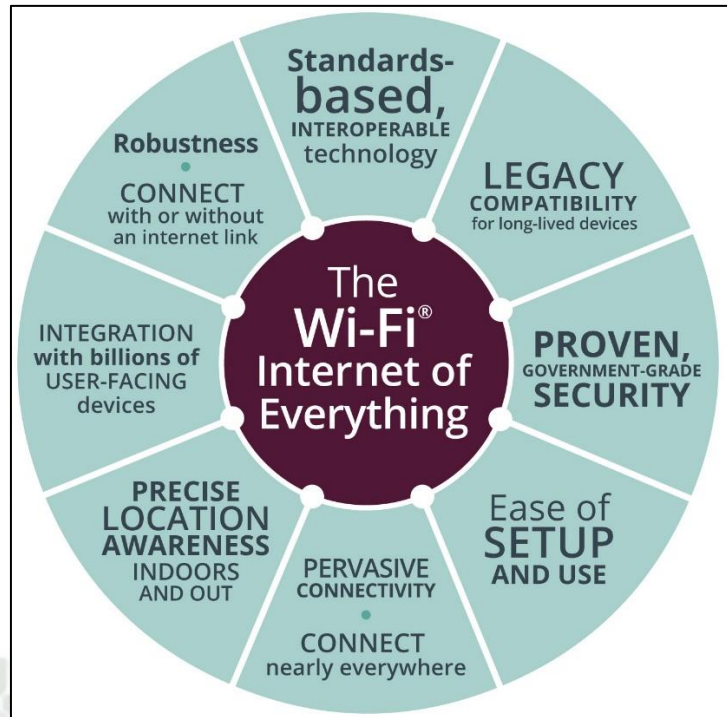


Figura 06: Características importantes de la tecnología Wi-Fi.

Fuente: Connect Your Life (Wi-Fi Alliance, 2015)

Se ha tratado de crear alternativas accesibles para la automatización durante décadas sin mucho éxito, pero hoy en día la tecnología ha mejorado a un punto en el que es económica, y las plataformas móviles que nos rodean facilitan su uso y atraen a un gran ecosistema de desarrolladores de aplicaciones. La tendencia entre las distintas tecnologías de automatización no se está dando hacia la competencia, sino a coexistir unas con otras en un solo hogar. Se prefiere Wi-Fi porque se está convirtiendo en un accesorio con el que todos deben contar, y existen millones de dispositivos que incluyen el estándar desde su fabricación. Entre las ventajas de los sistemas de automatización basados en Wi-Fi, incluso los más sencillos (Figura 06), encontramos:

- Facilidad de uso, dirigidos a personas con pocos o sin conocimientos técnicos.
- Instalación sencilla, en muchos casos sin la necesidad de un técnico.

- Base en una tecnología de comunicaciones estándar, a la cual casi todos los dispositivos tienen acceso y con la cual casi todas las personas tienen familiaridad.
- Aprovechamiento de las infraestructuras existentes, como enrutadores y puntos de acceso.
- Soporte e interacción con dispositivos móviles comunes como teléfonos inteligentes y tabletas.
- Capacidad de integrar dispositivos Wi-Fi de distintos fabricantes y especificaciones.
- Costo reducido, siendo alcanzables por muchas más personas.

2.1.3.5 Bluetooth

Cuando lo que se más se necesita son costos reducidos y facilidad en la conexión, la mejor opción es Bluetooth. Presente en casi todos los dispositivos actuales, es fácilmente adaptable a cualquier topología. Para facilitar la automatización de un hogar, se puede implementar una comunicación maestro / esclavo, resolviendo los problemas de bajo alcance incrementando el poder de transmisión sólo del nodo principal, permitiendo agregar o quitar dispositivos fácilmente, y brindando un intercambio de datos con control de prioridades (Sriskanthan N., Tan F., Karande A., 2002). Para hacer posible esta comunicación, el anfitrión deberá tener información que describa a los dispositivos de la red, como nombre, tipo, acceso, estados y prioridad, y cada dispositivo nuevo deberá brindar esta información al anfitrión para conectarse e iniciar la transferencia de datos.

Bluetooth es un estándar de tecnologías inalámbricas para el intercambio de datos en distancias cortas, entre dispositivos estáticos o móviles, creando redes de área personal con alto nivel de seguridad. Puede conectar a múltiples dispositivos superando cualquier problema de sincronización. Utiliza un protocolo con estructura maestro – esclavo, donde un maestro puede comunicarse con hasta 7 esclavos en una pequeña red, y todos los esclavos comparten el reloj de transmisión del maestro (Figura 07). Cada dos *ticks* forman un espacio para la transmisión, el maestro siempre transmite en espacios pares y los esclavos en impares.

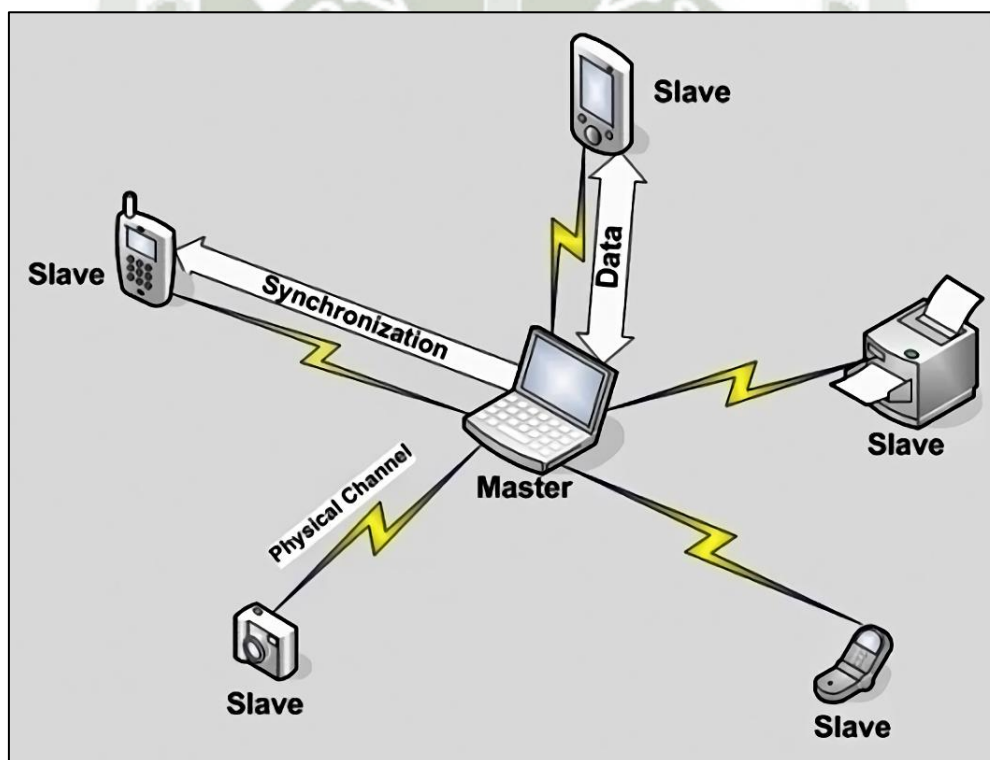


Figura 07: Estructura de comunicación de la tecnología Bluetooth.

Fuente: Bluetooth Technology Basics (Bluetooth, 2015)

Con Bluetooth se consiguen las siguientes ventajas:

- **Uso generalizado:** Casi todos los dispositivos móviles, como celulares, audífonos, computadoras portátiles y hasta impresoras; utilizan Bluetooth para comunicarse entre ellos.
- **Funcionamiento simplificado:** No es necesario tener casi ningún conocimiento sobre tecnología para hacer uso de Bluetooth, cualquier persona que tenga una base acerca de comunicaciones inalámbricas es capaz enviar y recibir datos sin problemas.
- **Comunicación sin cables:** Los módulos Bluetooth vienen integrados internamente en los dispositivos, lo que hace posible su uso inmediato y sin ningún accesorio ni cableado extra.
- **Bajo consumo de procesamiento y energía:** El poder de procesamiento y de batería necesarios son mínimos, permitiendo que hasta los dispositivos menos poderosos puedan contar con esta tecnología, y haciendo que el impacto en la batería sea mínimo siempre y cuando sólo se enciendan los módulos cuando se necesiten.

De la misma forma, esta tecnología tiene las siguientes desventajas:

- **Baja seguridad:** A diferencia de otras tecnologías inalámbricas, la seguridad en Bluetooth es bastante sencilla además de la posibilidad del monitoreo de los mensajes por terceros como en cualquier comunicación sin cables. Además, si es que una persona no autorizada consigue acceso físico a dispositivos de otro, podrá infiltrarse y comunicarse con ellos sin problema.

- Corto alcance: Los dispositivos que quieran comunicarse a través de Bluetooth deben estar como máximo a una habitación de distancia, sino la señal se degrada fácilmente y en envío de mensajes se hace imposible.
- Demoras al conectar y desconectar: Ya que sólo es posible comunicar dos dispositivos a la vez, es necesario desconectarse y reconectarse para cambiar de receptor de mensajes. Estas operaciones toman 10 veces más tiempo que otras tecnologías, lo que hace redes con múltiples nodos un concepto poco llamativo.



Capítulo 3

Costos de Implementación

Cada implementación del sistema requiere de un maestro Arduino (con un módulo Bluetooth), puentes Arduino para cada aparato, la aplicación móvil (en un dispositivo Android con acceso a Bluetooth) y el aparato que se controlará.

3.1 Maestro y Puentes

3.1.1 Tablero Arduino

Los tableros utilizados en los prototipos son Arduinos Uno R3, que son los modelos más comunes y de tamaño intermedio entre todos los tableros (53.3 mm por 68.6 mm). Al ser de un tamaño considerable, los modelos más apropiados para adicionar a los aparatos que se controlarán serían Arduino Mini y Micro, con tamaños de hasta 17.80 mm por 33.00 mm.

Si se desean obtener múltiples tableros o sólo se desea utilizar algunas de las características que ofrece Arduino, los precios oficiales resultan elevados y poco factibles. Afortunadamente, al ser una plataforma de hardware abierto, los planos de sus diseños están disponibles a cualquiera que quiera recrear los tableros, lo que resulta más económico que comprarlos directamente. Adicionalmente, hoy en día se han hecho muy comunes las impresiones 3D, lo que reduce el precio hasta en 10 veces, haciéndolo mucho más accesible para compras al por mayor.

Tablero	Dimensiones	Precio Oficial	Precio Reducido
Arduino Uno	53.3 mm por 68.60 mm	\$ 24.95	\$ 5.00
Arduino Micro	17.80 mm por 48.30 mm	\$ 22.95	\$ 4.00
Arduino Mini	17.80 mm por 33.00 mm	\$ 9.95	\$ 1.75

Tabla 01: Detalle de modelos Arduino y comparación de precios de tableros oficiales con tableros hechos por terceros.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Módulo Bluetooth

Los tableros Arduino no cuentan con acceso a la tecnología Bluetooth, por lo que es necesario agregarles un módulo externo que les brinde esta funcionalidad. Estos módulos vienen en precios bastante variables y con distintas características, y el sistema sólo utilizará módulos en modo esclavo, la capacidad de enviar y recibir mensajes, y el detalle de la conexión, funciones que brindan todos los dispositivos Bluetooth existentes.

Modelo	Precio
SparkFun BlueSMiRF Bluetooth Module	\$ 24.95
JY-MCU Bluetooth Board	\$ 0.99

Tabla 02: Comparación de precios entre uno de los módulos Bluetooth más complejos del mercado y el módulo más simple.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Dispositivo Móvil

Para que la aplicación pueda funcionar correctamente sólo necesita que el dispositivo en el que está instalada tenga acceso a la tecnología Bluetooth, característica que tienen casi todos los dispositivos móviles hoy en día, hasta los más sencillos. Además, en los últimos años, el precio promedio de los dispositivos Android se ha reducido poco a poco gracias a la gran cantidad de teléfonos de gama baja que se han lanzado al mercado. Estos teléfonos brindan todas las características básicas que se esperan del sistema operativo Android y tienen precios considerablemente reducidos en comparación a los de los productos bandera de cada fabricante y a las tabletas.

Modelo	Precio
Motorola Moto E	\$ 139.90
Sony Xperia E4	\$ 129.90
LG Joy	\$ 99.90
Huawei Honor Bee	\$ 79.90
Samsung Galaxy V	\$ 79.90
Alcatel Pixi 3	\$ 69.90
ZTE Maven	\$ 59.90

Tabla 03: Comparación de precios de teléfonos celulares de gama baja de los fabricantes más conocidos.

Fuente: Elaboración propia.

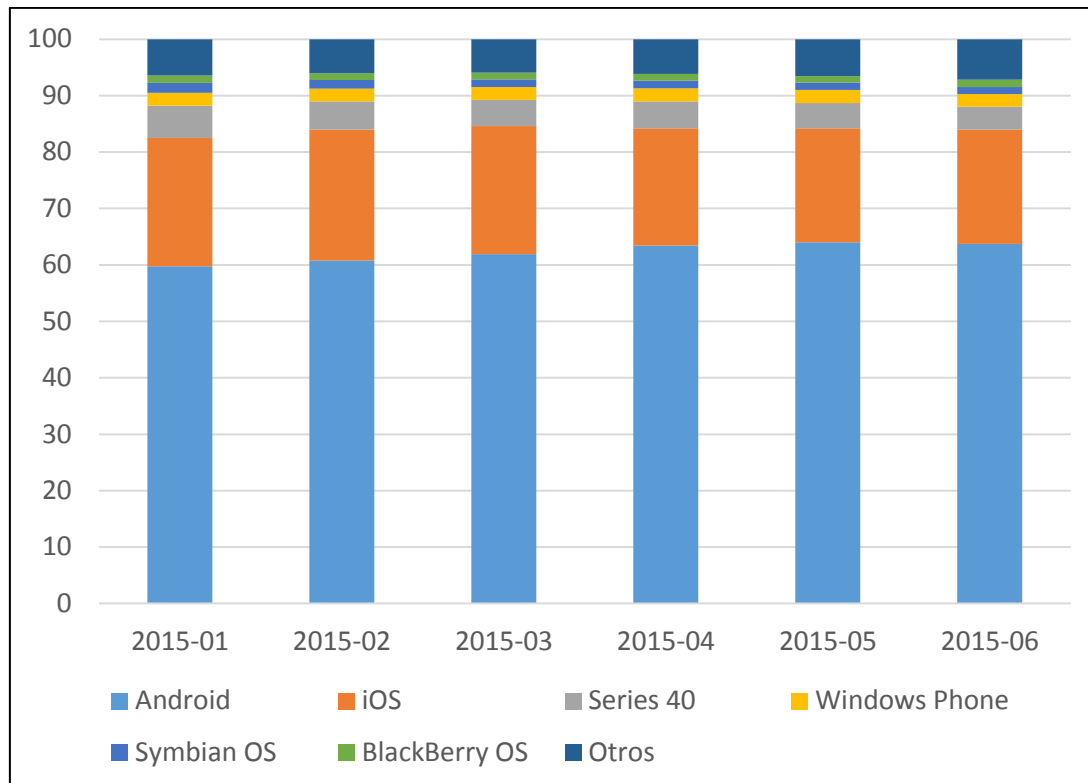


Figura 08: Distribución mundial de sistemas operativos en teléfonos móviles para la primera mitad del año 2015.

Fuente: Elaboración propia.

Con esta información puede verse que el costo mínimo para implementar el sistema se encuentra en el rango de 2 a 10 dólares por maestro y entre 1 y 2 dólares por aparato electrónico que se quiera integrar, dependiendo de los tableros que se necesiten y el módulo que se quiera utilizar. Por otro lado, puede notarse que los dispositivos Android dominan grandemente el mercado en de teléfonos móviles (Figura 08), y si es que un usuario no cuenta con un dispositivo Android deberá gastar menos de 60 dólares, precio que puede eliminarse cuando se obtiene un teléfono móvil en un contrato con un operador de telefonía.

Capítulo 4

Presentación de los Datos

4.1. Personalización

Al identificar a un cliente con un dispositivo Bluetooth específico, es posible personalizar los objetos en su entorno según información que se tenga de él, o también guardar datos de configuración y preferencias que pueden ser reutilizados la próxima vez que se realice una conexión.

4.1.1 Interacción indirecta con un sistema

Hoy en día se usan mayormente pantallas dinámicas en lugar de letreros estáticos para mostrar publicidad a las personas que transitan lugares públicos. Si se complementa estas pantallas con módulos Bluetooth, es posible personalizar su contenido según los usuarios que se encuentren cerca.

Al relacionar a cada dispositivo con una cuenta de usuario, es posible estimar los intereses comunes de la audiencia actual y mostrar sólo publicidad relevante, ya sea mostrando anuncios orientados al cliente que se encuentre directamente frente a éstos, o identificando el producto más apropiado a mostrar según las preferencias de la mayoría de las personas que se encuentren alrededor (Sharifi M., Payne T., David E., 2006).

Los anuncios pueden mostrarse de distintas formas:

- En orden: Para mostrar los anuncios en un orden preestablecido que se repita en un ciclo indefinidamente.
- Aleatoriamente: Para que el orden de los anuncios sea cambiado cada vez que se complete un ciclo.
- Basado en patrones: Para que los anuncios se muestren según los perfiles de usuarios aprendidos en las anteriores formas, de forma que se muestre publicidad que concuerde con la hora del día, la cantidad de usuarios, la frecuencia de un usuario específico y la recepción que cada usuario mostró hacia cada anuncio.

Si se extiende el envío de información para que los usuarios puedan ingresar datos manualmente según lo que se esté mostrando, las predicciones podrían ser mucho más correctas y se podrían incluso analizar la reacción específica que causa un determinado anuncio a cada persona, ayudando a mejorar no sólo el orden de la publicidad, sino también la forma en que se comunica con los posibles clientes.

4.1.1.1 Sistemas comerciales

- BluScreen:

BluScreen es un sistema de personalización de anuncios publicitarios que se basa en los identificadores de los dispositivos Bluetooth de los usuarios cercanos para mostrar publicidad personalizada según distintos algoritmos para tomar decisiones apropiadas (Karam M., Payne T., David E., 2007). Puede detectar el interés hacia el anuncio mostrado según el tiempo en que un usuario se mantenga cerca de la pantalla e identificar anuncios que no son recibidos positivamente. El sistema guarda información acerca de la impresión que causa la publicidad a cada usuario y busca

patrones que permitan identificar compradores potenciales y mejorar la calidad de los anuncios mostrados.

4.1.2 Interacción directa con un sistema

Cuando se necesita monitorear constantemente la actividad de un usuario con dispositivos de algún lugar público para registrarla en un sistema, pero existe una gran cantidad de usuarios concurrentes en cualquier momento del día, el ingreso manual de datos se hace difícil y hasta imposible, de forma que un ingreso automático es la única opción válida para que el sistema recolecte la información que requiere.

Al hacer obligatoria la conexión de los aparatos públicos con los dispositivos móviles de los usuarios para permitir su uso, se puede enfocar el monitoreo a esta interacción en lugar de a los usuarios, haciendo posible la recolección de datos acerca de horarios, frecuencia de uso, intensidad de uso, y también realizar un control si es que se está cumpliendo con un plan predeterminado; todo esto siendo registrado de manera automática en los datos del sistema, reduciendo considerablemente el trabajo requerido para ingresar la información (Sidek Z., 2005).

Los dispositivos públicos estarían unidos directamente al sistema, y al recibir la conexión de algún usuario registrarían automáticamente el inicio y el final de ésta, y los distintos parámetros que se podrían definir antes de que el usuario realice sus actividades, cosas que tomarían un tiempo no despreciable en anotarse si se hicieran manualmente, haciendo la interacción del usuario un proceso ubicuo y sencillo que

maximice el tiempo de utilización y reduzca el tiempo de preparación y registro de datos.

Se puede poner como ejemplo al sistema de información de un gimnasio, que necesita recolectar información específica acerca del uso de las distintas máquinas que posee, y donde concurre una gran cantidad de personas en un mismo instante.

4.2. Control

Con el incremento constante de computadoras controlando y facilitando todas nuestras actividades, ha surgido un nuevo mercado para objetos controlados específicamente por teléfonos móviles a través de tecnologías inalámbricas. Desde herramientas que simplifiquen el manejo de los dispositivos móviles hasta aparatos que interactúen con aplicaciones específicas instaladas en ellos.

4.2.1 Appcesorios

Son dispositivos inalámbricos (como juguetes o accesorios personales) que, a través de sus distintos sensores y mecanismos, se comunican con un dispositivo móvil y aumentan la inmersión del usuario al complementar aplicaciones dedicadas que los controlan y permiten interactuar con éstos.

Con la rápida extensión de tecnologías móviles en todo tipo de dispositivos y el incremento de características avanzadas en los modelos económicos, se ha creado un

nuevo mercado estos accesorios, los que pueden funcionar independientemente, pero brindan una experiencia completamente nueva cuando se los utiliza junto con las aplicaciones dedicadas que los complementan (Hunn N., 2013). Así como las aplicaciones móviles crecieron desproporcionadamente después de que las herramientas para crearlas se simplificaron y sus costos se volvieron accesibles para cualquier persona, el surgimiento del hardware libre ha hecho que sea económico y sencillo producir accesorios de manera masiva.

Los accesorios, aunque tienen un alcance más local y no están necesariamente conectados a la web en todo momento, contribuyen considerablemente al concepto de la “Internet de las Cosas”, introduciendo un entorno en donde objetos de uso cotidiano son utilizados fácilmente por los dispositivos móviles de los usuarios.

Gracias a la tecnología BLE, no es necesario estar limitado a accesorios de origen propietario. Los precios de los componentes necesarios para realizar tableros electrónicos se han reducido considerablemente, y con la ayuda de comunidades como la de desarrolladores de Arduino, cualquier empresa pequeña puede iniciarse en este mercado sin una inversión demasiado alta y con un gran posible valor de retorno.

4.2.1.1 Sistemas comerciales

- Five Pen PC:

Son un conjunto de herramientas en forma de lapiceros que brindan 5 funciones para controlar a un dispositivo móvil: un procesador con entrada manuscrita, un teclado virtual, un proyector LED, una cámara digital, y un identificador personal (Saranya

B., Muruganandham S., 2015. Juntos logran que se pueda controlar cualquier dispositivo como si se tratara de una computadora personal. Están constantemente conectados entre sí y envían y reciben toda la información al lapicero procesador, el que debe estar emparejado con el dispositivo que se desee controlar.

4.3. Posicionamiento

Los dispositivos Bluetooth pueden detectar a otros dispositivos en su cercanía y además recibir información sobre la conexión que permite realizar suposiciones y análisis sobre la ubicación y movimiento de éstos.

4.3.1 Protección contra pérdida o robos

Con el bajo consumo de energía de los módulos Bluetooth actuales, se puede tener dispositivos que busquen a otros constantemente. De igual forma, con el reducido tamaño de módulos que existen hoy en día las personas son capaces de siempre llevar uno de estos aparatos con ellas.

Es común la pérdida de dispositivos móviles, ya sea por pérdida o robo, o el simple olvido en el hogar o trabajo, evitando que se puedan utilizar cuando se necesitan. Es posible decidir si un dispositivo Bluetooth está siendo olvidado sin necesidad de emparejamiento con sólo buscarlo en las cercanías, operación que hoy en día requiere un muy bajo consumo de batería, aun cuando se haga constantemente (Chavan P., Bombale U., 2014).

El módulo contra robos podría informar al usuario a través de alarmas, vibración o iluminación cuando el dispositivo se encuentre fuera de rango o con dificultad al contactarse, y los sensores comunes en muchos dispositivos móviles, como acelerómetros y detectores de movimiento, podrían brindar más información acerca del estado del dispositivo, como caídas o movimientos bruscos. También se puede incluir una batería recargable que sólo necesite conectarse una vez cada cierta cantidad de meses.

Desde la versión 4 de Bluetooth es posible utilizar el estándar BLE (Bluetooth Low Energy) que es capaz de funcionar ininterrumpidamente por más de un año con una batería del tamaño de una moneda, consumiendo hasta 98% menos energía que Bluetooth convencional. En el pasado, dispositivos para prevenir robos han fallado en generar interés principalmente por la baja duración de las baterías, teniendo que recargarse constantemente.

4.3.1.1 Sistemas comerciales

- **Bluenio:**

Es un dispositivo Bluetooth que permite ser emparejado con teléfonos móviles o tabletas para rastrearlos e informar de su posible pérdida. Utiliza la tecnología BLE, por lo que es necesario que los dispositivos conectados la soporten, su batería dura hasta 4 meses, y emite distintos tipos señales cuando el dispositivo móvil rastreado se encuentra fuera del rango permitido (Bluenio, 2015). Permite realizar conexiones con autenticación de dos vías para situaciones en que los dispositivos móviles

realicen operaciones que requieran seguridad extra, como pagos virtuales y acceso a cuentas bancarias, de forma que sólo se puedan efectuar si un módulo Bluenio se encuentra conectado.

4.3.2 Balizas Bluetooth

Las balizas son dispositivos electrónicos que llevan información geográfica y la envían a quien la solicite para permitirle ubicarse con exactitud en el lugar que se encuentra. Para el posicionamiento en interiores es común su integración con la tecnología Bluetooth por su resistencia a bloqueos de señal y su bajo costo.

Entre los métodos para lograr el posicionamiento de los usuarios se encuentran (Bekkelien A., 2012):

- Con trilateración: Ya que no existe una forma directa de conseguir la distancia a un dispositivo Bluetooth, es necesario utilizar aproximaciones basadas en los parámetros de la misma especificación, como el indicador de fuerza de señal recibida (RSSI) y la calidad del enlace (LQ). Estos métodos no logran conseguir información precisa, pero son suficientes si lo único que se desea es una ubicación a nivel de área o habitación.
- Con células: Estos métodos se basan en la visibilidad de las balizas para determinar la posición, dividiendo las áreas en secciones según las balizas con las que se tenga conexión. Podrían usarse modelando las áreas en un grafo de ubicación, o simplemente usar las balizas como una grilla limitando su rango a un valor aceptable y escaneando constantemente por éstas.

Cuando se implementa en grandes tiendas o supermercados, se pueden incluir datos extras como los productos ubicados inmediatamente cerca a la baliza, o información acerca de promociones para los clientes. Se acceden a través de aplicaciones móviles propietarias de cada cadena y pueden permitir la identificación de patrones de compra y movilización de cada usuario, así como el envío de publicidad personalizada según el lugar en que se encuentren.

Otra forma de utilizarlas es a través de tabletas dedicadas, incluidas en el hardware disponible para los clientes (por ejemplo, carritos de compra), que contengan acceso a un sistema de compras que pueda brindar muchas más funciones que una aplicación móvil.

4.3.2.1 Sistemas comerciales

- Módulo de posicionamiento en interiores ZONITH:

Es un sistema de posicionamiento basado en Bluetooth para monitorear empleados que trabajan en entornos peligrosos (Zonith, 2015). El sistema consiste en balizas distribuidas a lo largo del área que son capaces de rastrear cualquier dispositivo que cuente con tecnología Bluetooth. Están conectadas a una red interna y permiten a los usuarios cambiar la intensidad de señal para ajustar la granularidad del sistema de posicionamiento.

También está integrado con un control de alarmas que es responsable de dar alertas en caso de emergencias, y rastreará automáticamente cualquier dispositivo que ingrese al área sin necesidad de modificación alguna en los mismos.

- Monitoreo de dispositivos Bluetooth con Waspote:

Waspote es un nodo sensor inalámbrico (llamados *motes* en inglés) que es capaz de recolectar información sensorial acerca de dispositivos cercanos, realizar procesamientos con ésta, y comunicarla a otros nodos de la red (Libelium Comunicaciones Distribuidas, 2015).

Al juntar múltiples nodos, es posible crear un sistema de monitoreo en tiempo real que permite analizar el tráfico de dispositivos en su área y enviar información útil a los usuarios, como ubicación de productos y áreas, o lugares de estacionamiento desocupados; o recolectar información de los mismos, como la velocidad de vehículos, o los patrones de movimiento de peatones para tomar decisiones administrativas basadas en ésta.

Capítulo 5

Análisis y Discusión de los Datos

La información obtenida demostró las funciones que puede cumplir la tecnología Bluetooth cuando se aplica a sistemas de automatización, las que dieron forma a los módulos para la aplicación y a las tablas de la base de datos del repositorio. Estas funciones se dividen en el envío y recepción de mensajes, y en la búsqueda y posicionamiento de otros dispositivos.

5.1 Tipos de Funciones

5.1.1 Control

Esta funcionalidad permite que los mensajes enviados por el usuario se vean reflejados físicamente en los aparatos conectados, tras los que se responderá con una confirmación adicional a la aplicación móvil (Figura 09). Los puentes estarán conectados directamente a los aparatos de manera que simulen la activación de botones e interruptores, los que usarán al recibir los comandos específicos que sean definidos en el repositorio.

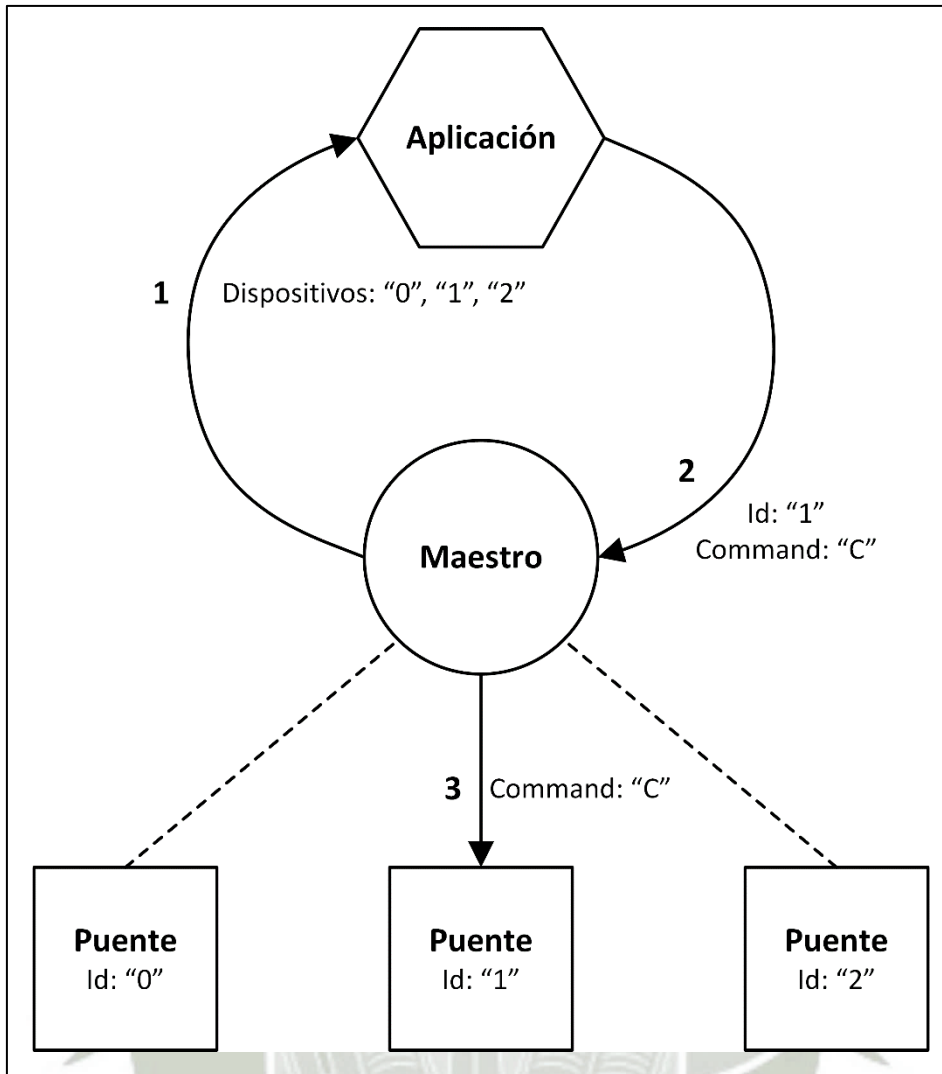


Figura 09: Funcionamiento básico del control de un dispositivo conectado a un puente.
Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Posicionamiento

La función de posicionamiento no es parte del mismo concepto de enviar y recibir comandos. Para obtener la ubicación de un dispositivo, la aplicación se desconectará y los maestros sólo funcionarán como balizas hasta que se restablezca la comunicación.

Los maestros enviarán su información geográfica al conectarse correctamente con la aplicación, y luego será necesario terminar la comunicación Bluetooth y se entrará al modo de búsqueda de dispositivos de la antena cada vez que se quiera aproximar la ubicación relativa del dispositivo móvil (Figura 10).

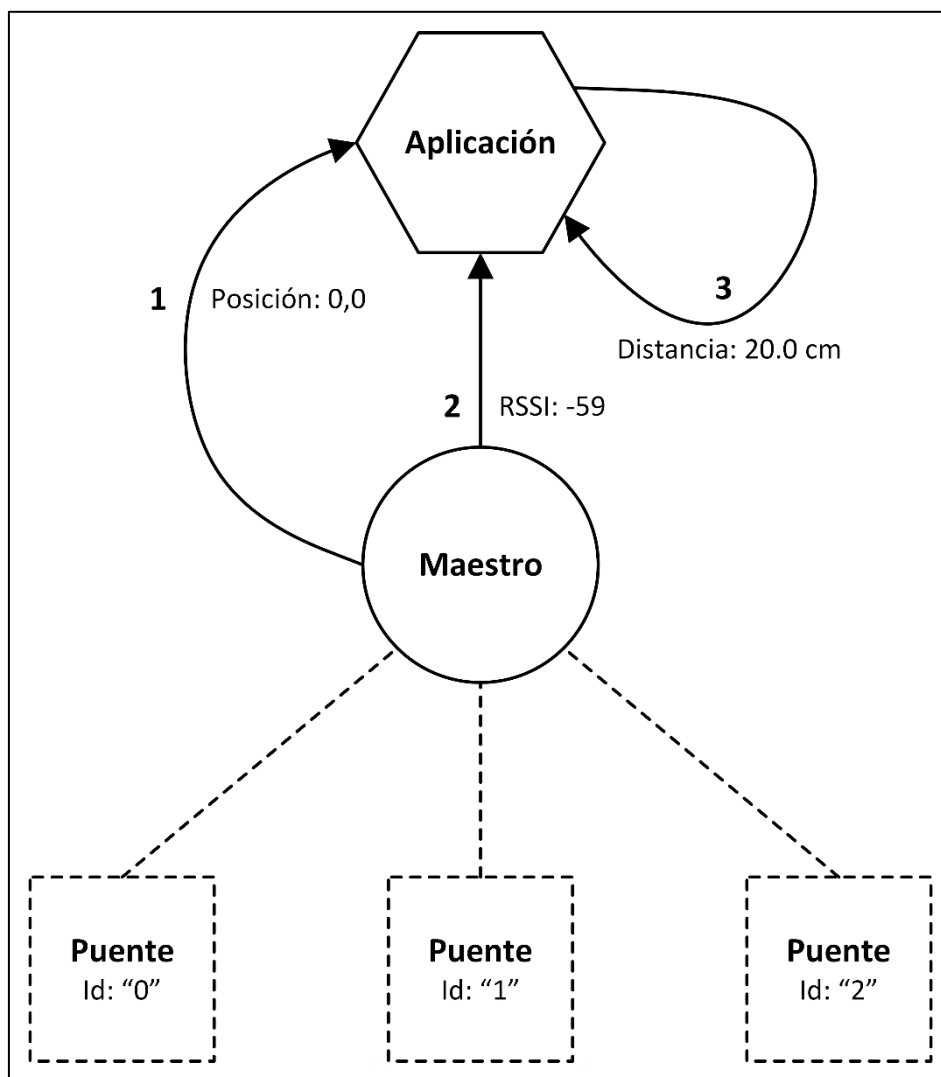


Figura 10: Funcionamiento básico del posicionamiento de un dispositivo maestro.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Bluetooth como medio

Las tecnologías inalámbricas de hoy se han desarrollado con distintas metas en mente, y cada una supera a las demás en su campo específico. Entre las más conocidas se pueden mencionar a Bluetooth, Wi-Fi, IR y ZigBee. Wi-Fi está especializada en brindar conexión a una gran cantidad de dispositivos al mismo tiempo en grandes distancias, IR se concentra en enviar mensajes directos sin preocuparse por interferencia o seguridad, Zigbee tiene como meta un consumo mínimo de energía y se aplica mayormente a hogares inteligentes, y Bluetooth fue desarrollado para permitir a una computadora conectarse con todos los dispositivos que tuviera en su alrededor sin ninguna complejidad (Tabla 04).

	Bluetooth	Wi-Fi	IR	ZigBee
Velocidad de Transferencia Máxima	24 Mbit/s	150 Mb/s	512 Mb/s	250 Kbits/s
Rango Máximo	30 m	250 m	1 m	100 m
Complejidad	Media	Alta	Baja	Baja
Consumo de Energía	Medio	Alto	Bajo	Bajo
Aplicaciones	Conectividad	Conectividad	Controles	Automatización

Típicas	inalámbrica entre dispositivos portátiles.	inalámbrica para LAN, acceso a internet.	remotos.	de hogares y edificios.
---------	---	---	----------	----------------------------

Tabla 04: Comparación de tecnologías inalámbricas.

Fuente: Elaboración propia.

No se considerarán las tecnologías ZigBee e IR por su ausencia en los dispositivos móviles de hoy en día, lo que reduce las opciones a sólo dos: Wi-Fi, y Bluetooth. La tecnología Wi-Fi no se especializa en comunicaciones aisladas entre sólo unos cuantos dispositivos, por lo requiere de una infraestructura ya establecida y configuraciones más avanzadas para funcionar correctamente, y en los dispositivos móviles normalmente se utiliza para conseguir acceso a internet sin utilizar los datos limitados que brinda un operador de telefonía. Considerando estas últimas características, la mejor opción se reduce a Bluetooth.

La tecnología escogida, Bluetooth, además de estar hecha para la comunicación de dispositivos móviles, brinda una complejidad media de instalación y conexión, haciéndola usable por usuarios con un nivel mínimo de conocimientos tecnológicos. Además, el rango y la velocidad de transferencia exceden grandemente los valores necesarios para el funcionamiento de cualquier sistema que haga uso de esta tecnología y que no requiera la transmisión de grandes paquetes de datos.

Los tiempos de respuesta brindados por el módulo Bluetooth utilizado mostraron valores que pueden percibirse como instantáneos hasta 1000 (mil) caracteres enviados y recibidos en secuencia. Más allá de este valor el tiempo se incrementa de forma exponencial si es que no se incrementa la velocidad de transferencia del módulo, hecho que podría causar inestabilidad (Figura 11).

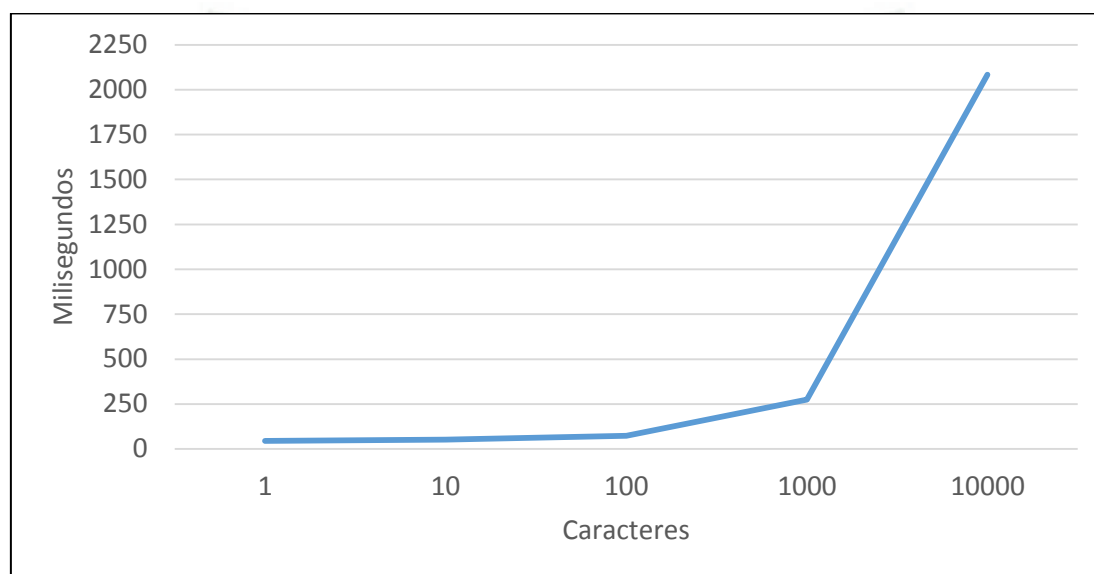


Figura 11: Tiempos promedio de respuesta según el número enviado de caracteres del módulo Bluetooth.

Fuente: Elaboración propia.

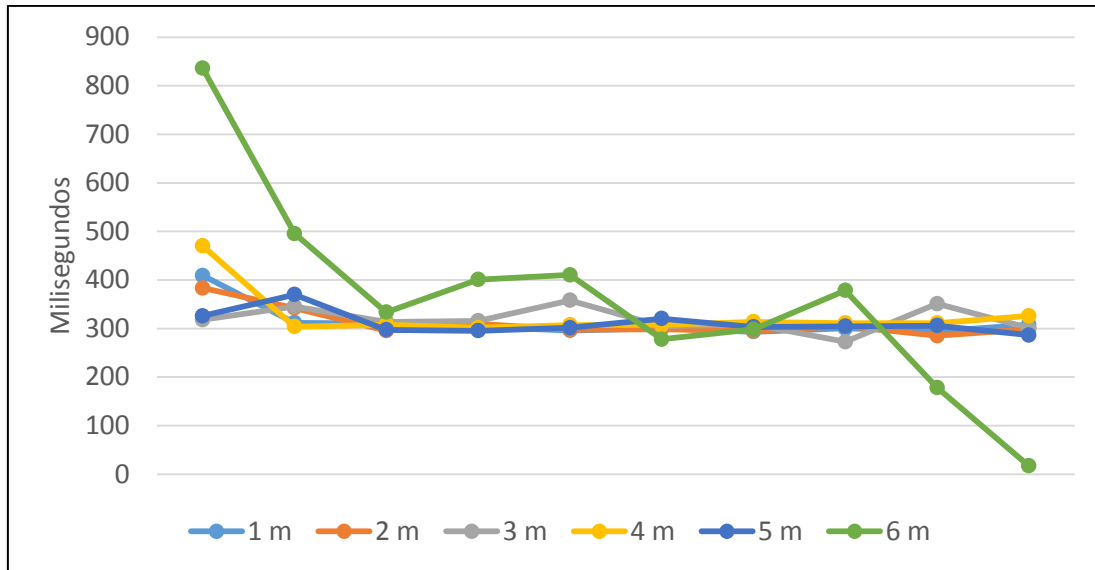


Figura 12: Tiempos de respuesta del envío de 1000 caracteres en 10 repeticiones desde 1 hasta 6 metros.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la distancia, el módulo utilizado funcionó sin ningún retraso adicional a cualquier distancia sin obstáculos hasta llegar a los 6 metros, donde se comenzó a observar una inestabilidad en los datos, y a los 7 metros la conexión se interrumpió y ya no fue posible restablecerla ni enviar más datos (Figura 12).

Capítulo 6

Descripción del Sistema

La aplicación podrá buscar a los maestros Arduino que tendrán conectados múltiples puentes hacia los dispositivos que se encuentren cerca, enviarles un mensaje que identifique a la aplicación, y consultar al repositorio acerca de los dispositivos conectados si es que se recibe una respuesta. Una vez se haya recibido la información necesaria, enviará y recibirá los comandos respectivos para realizar la interacción a través de Bluetooth con el dispositivo seleccionado y el puente los traducirá y reenviará automáticamente.

6.1 Repositorio en línea

Formado por una base de datos en línea que contiene la información necesaria para la conexión e interacción con cada uno de los dispositivos que se comunicarán con el dispositivo móvil. Dispositivos nuevos deben ser agregados manualmente al repositorio junto con los datos acerca de las funciones que pueden realizar.

La base de datos consiste en 3 tablas (Figura 13):

- *Device*, para los datos básicos de cada dispositivo, como un nombre y una descripción que ayuden a identificarlos fácilmente.
- *Function*, para los datos básicos de las funciones que los dispositivos pueden realizar y las respuestas que pueden enviar de vuelta.

- *DeviceFunction*, para relacionar los dispositivos con sus funciones, donde un dispositivo puede tener varias funciones, y una función puede encontrarse en varios dispositivos.

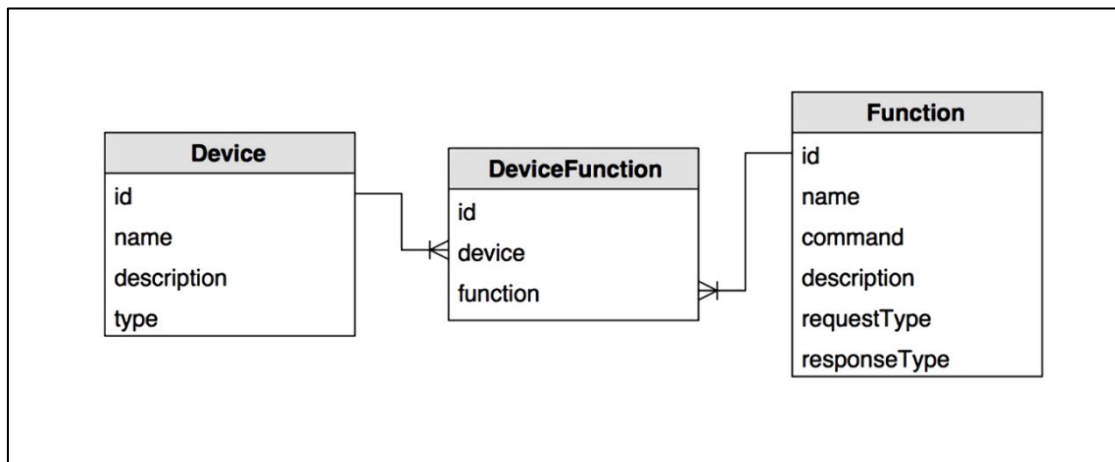


Figura 13: Diagrama de las tablas y relaciones utilizadas por el repositorio.

Fuente: Elaboración propia.

El acceso a las tablas se hace a través de la librería ProtoRPC de Google, que permite implementar servicios web basados en HTTP de manera fácil y rápida, alojados por la plataforma de computación en la nube Google App Engine. Se creó un servicio web con dos funciones: *GetDeviceDetails*, que permite solicitar la información de un dispositivo específico enviando su identificador; y *ListFunctions*, que permite recibir los parámetros de todas las funciones que estén relacionadas con el dispositivo enviando el mismo identificador.

Para comunicarse con el servicio es necesario enviar las peticiones a través de JSON, a las que el servicio responderá de la misma manera. Ambas funciones sólo necesitan el identificador único del dispositivo (id) para responder (Figura 14).

```
1 {  
2   "id": "0"  
3 }
```

Figura 14: Mensaje JSON con el identificador del dispositivo enviado a las funciones del servicio web.

Fuente: Elaboración propia.

GetDeviceDetails retorna el identificador del dispositivo, su descripción y su nombre (Figura 15).

```
1 {  
2   details: {  
3     id: "0",  
4     description: "A door that can open and close.",  
5     name: "Door"  
6   }  
7 }
```

Figura 15: Respuesta dada por el repositorio al consultar por la información del dispositivo con identificador "0".

Fuente: Elaboración propia.

ListFunctions retorna para cada función encontrada el identificador de función, el nombre, el comando, y la descripción (Figura 16).

```

1  {
2    functions: [
3      {
4        description: "Opens the door.",
5        command: "O",
6        id: "0",
7        name: "Open"
8      },
9      {
10       description: "Closes the door.",
11       command: "C",
12       id: "1",
13       name: "Close"
14     }
15   ]
16 }

```

Figura 16: Respuesta dada por el repositorio al consultar por las funciones del dispositivo con identificador "0".

Fuente: Elaboración propia.



6.2 Maestro Arduino

Formado por un tablero Arduino con un módulo Bluetooth al que se conectará la aplicación móvil. Al iniciar la comunicación, la aplicación debe enviar una secuencia específica de comandos al maestro (Figura 17) para que éste liste los puentes que tenga conectados y permita escoger entre ellos para habilitar su interacción con el usuario.

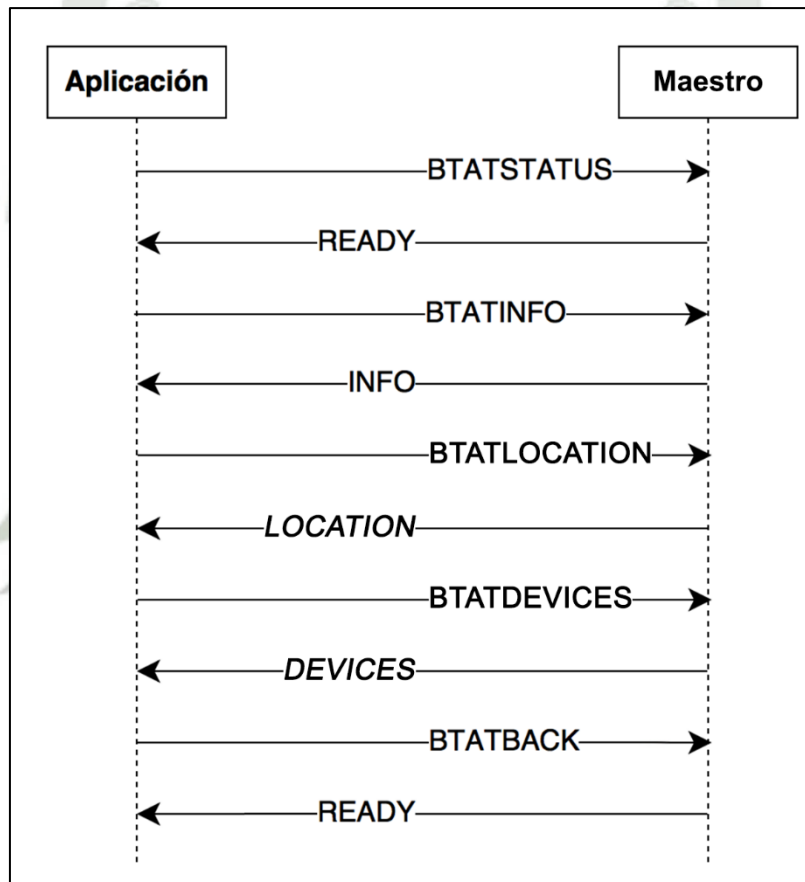


Figura 17: Secuencia de comandos que forman parte del apretón de manos necesario para conectarse a un dispositivo maestro e iniciar la comunicación.

Fuente: Elaboración propia.

Cada maestro tiene tres estados (Tabla 05):

- **READY**, donde se encuentra en forma neutral y espera a recibir un mensaje de cambio de estado según lo solicite la aplicación después de enviar la secuencia correcta de comandos.
- **INFO**, donde recibe y responde a solicitudes de información acerca de sí mismo y los puentes que tenga conectados.
- **COMMAND**, donde se limita a reenviar todos los mensajes de la aplicación al dispositivo elegido.

El maestro se comunicará con los puentes mediante el protocolo serial I²C, soportado por defecto en los tableros Arduino y que simplifica grandemente el envío y la recepción de datos mediante puertos seriales.

Estado	Instrucción	Descripción
Cualquiera	BTATSTATUS	Responde con el estado actual del maestro.
READY	Texto cualquiera	Responde con un mensaje de error.
	BTATINFO	Cambia el estado del maestro a INFO.
	BTATCOMMAND#	Cambia el estado del maestro a COMMAND para reenviar comandos al puente identificado con la dirección “#”.
INFO	Texto cualquiera	Responde con un mensaje de error.

	BTATLOCATION	Responde con las coordenadas registradas en el maestro para hacer posible su localización.
	BTATDEVICES	Responde con la lista de dispositivos que el maestro tiene conectados.
	BTATBACK	Regresa al estado READY.
COMMAND	Texto cualquiera	Reenvía los mensajes recibidos al dispositivo escogido.
	BTATBACK	Regresa al estado READY.

Tabla 05: Estados del puente Arduino y las distintas instrucciones que puede recibir en cada uno de ellos.

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Puente Arduino

El componente con mayor variabilidad del sistema, consta de un tablero Arduino dedicado específicamente para cada dispositivo con el que se comunicará traduciendo los comandos establecidos en el repositorio. El único mensaje que enviará a su maestro será su identificador, el resto del tiempo sólo recibirá los mensajes enviados por la aplicación móvil y los hará llegar al aparato al que se encuentre conectado (Tabla 06).

Tipo de Instrucción	Descripción
Solicitud	Responde con el <i>ID</i> registrado en el puente, necesario para acceder al repositorio.
Mensaje	Compara el mensaje con los comandos de las funciones asignadas al puente y ejecuta la parte del programa que le corresponda.

Tabla 06: Estructura básica del funcionamiento del puente Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

Los puentes estarán conectados físicamente a sus dispositivos respectivos y tendrán un programa creado para reproducir la interacción física que se tendría con los aparatos y efectuarla según los comandos definidos en el repositorio. Cada puente posee un identificador único que representa al dispositivo que permite controlar.

6.4 Aplicación móvil

Escrita en Java para el sistema operativo Android, consta de 6 módulos separados que permitirán comunicarse con cualquier tipo de dispositivo que se encuentre en el repositorio y tenga el programa de traducción implementado.

6.4.1 Módulos sin interfaz

Los módulos internos utilizan el patrón publicar-suscribir para informar a través de mensajes globales al resto de la aplicación cuando concretan cada paso importante de su

funcionamiento. Estos mensajes pueden ser leídos por cualquiera de los demás módulos siempre y cuando se encuentren suscritos a las publicaciones que se emiten.

6.4.1.1 Módulo de Bluetooth

Contiene todas las funciones básicas para comunicarse con los maestros cercanos, como la búsqueda de dispositivos en los alrededores, la secuencia de comandos para ser reconocido como válido por el dispositivo conectado, y el envío y la recepción de mensajes. Utiliza mensajes del patrón publicar-suscribir relacionados con las comunicaciones Bluetooth (Tabla 07).

Mensaje	Evento
ACTION_REQUEST_ENABLE	Para solicitar el encendido de la antena Bluetooth del dispositivo móvil.
ACTION_DISCOVERY_STARTED	Cuando se inicia la búsqueda de dispositivos Bluetooth.
ACTION_DISCOVERY_FINISHED	Cuando se finaliza la búsqueda de dispositivos Bluetooth.
ACTION_FOUND	Cuando un dispositivo Bluetooth es encontrado.
ACTION_ACL_CONNECTED	Cuando la aplicación se conecta a un dispositivo Bluetooth.
ACTION_ACL_DISCONNECTED	Cuando la aplicación se desconecta de un

	dispositivo Bluetooth.
ACTION_HANDSHAKE_SUCCESS	Cuando la aplicación es reconocida exitosamente por el dispositivo maestro.

Tabla 07: Distintos eventos que generan publicaciones y mensajes enviados por el módulo Bluetooth.

Fuente: Elaboración propia.

6.4.1.2 Módulo de servicio web

Contiene funciones para comunicarse con el repositorio en línea y poder llamar a las funciones del servicio web, como la obtención de los datos acerca del dispositivo conectado, y el listado de funciones que éste puede realizar. Utiliza mensajes relacionados a la carga de los datos de los dispositivos y sus funciones del repositorio (Tabla 08).

Mensaje	Evento
ACTION_DATA_LOAD_SUCCESS	Cuando los datos de un dispositivo fueron cargados exitosamente del repositorio.
ACTION_FUNCTION_FOUND	Cuando se encuentra una función asignada a un dispositivo en el repositorio.
ACTION_FUNCTIONS_LOAD_SUCCESS	Cuando todas las funciones de un dispositivo fueron cargadas

	exitosamente del repositorio.
--	-------------------------------

Tabla 08: Distintos eventos que generan publicaciones y mensajes enviados por el módulo de servicio web.

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2 Módulos con interfaz

Estos módulos son los que interactuarán con el usuario mostrando maestros, puentes y funciones que pueden realizar los dispositivos conectados, y permitiendo que el usuario interactúe con los aparatos de forma inalámbrica desde su dispositivo móvil.

6.4.2.1 Módulo de maestros

Tiene funciones para comunicarse con el módulo de Bluetooth y es el encargado de buscar dispositivos maestros, conectarse a ellos y recibir su información. Los objetos que instancie este módulo podrán ser utilizados por los demás y existirán hasta que la aplicación se cierre. Posee dos funciones: listar los puentes conectados y ejecutar el módulo de dispositivos, y permitir su posicionamiento basándose en la intensidad de la señal de la antena Bluetooth.

Al abrir la aplicación se pueden buscar maestros cercanos, los que aparecerán listados en el área principal (Figura 18).

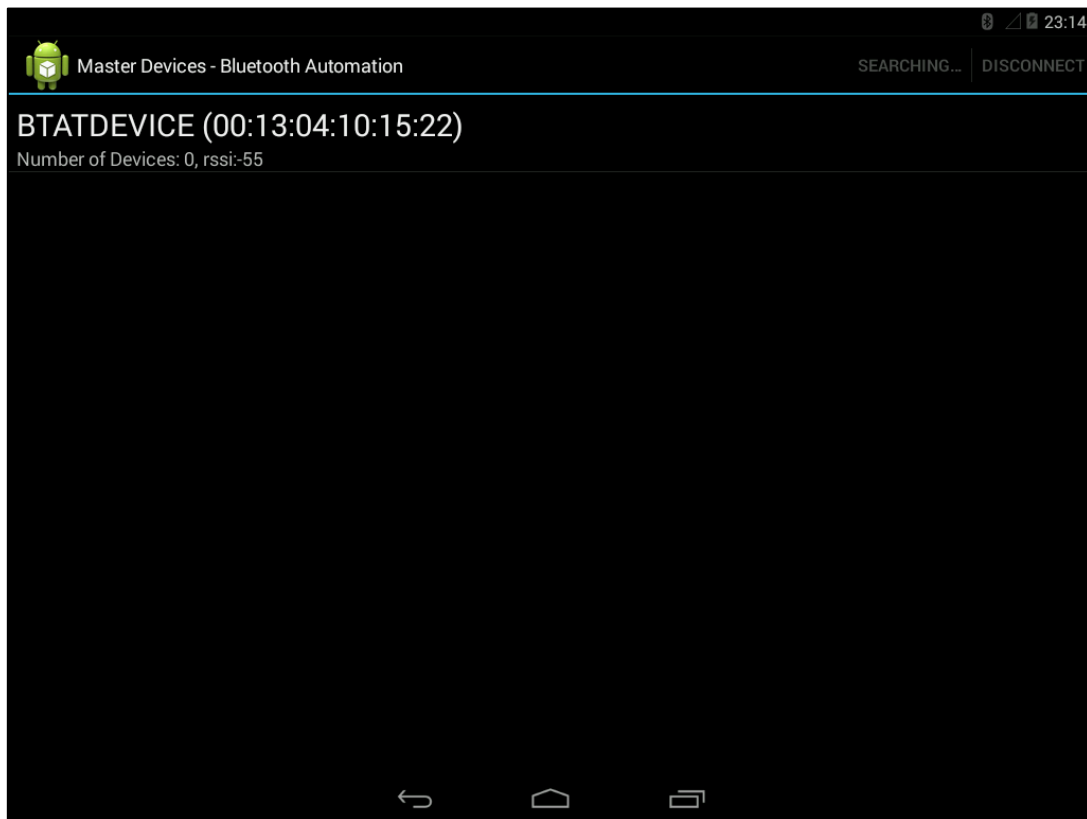


Figura 18: Pantalla principal de la aplicación mostrando un dispositivo maestro cercano encontrado.

Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar uno la aplicación tratará de conectarse, y si es posible, enviará la secuencia de comandos para asegurarse de que se trata de un maestro Arduino (Figura 19).

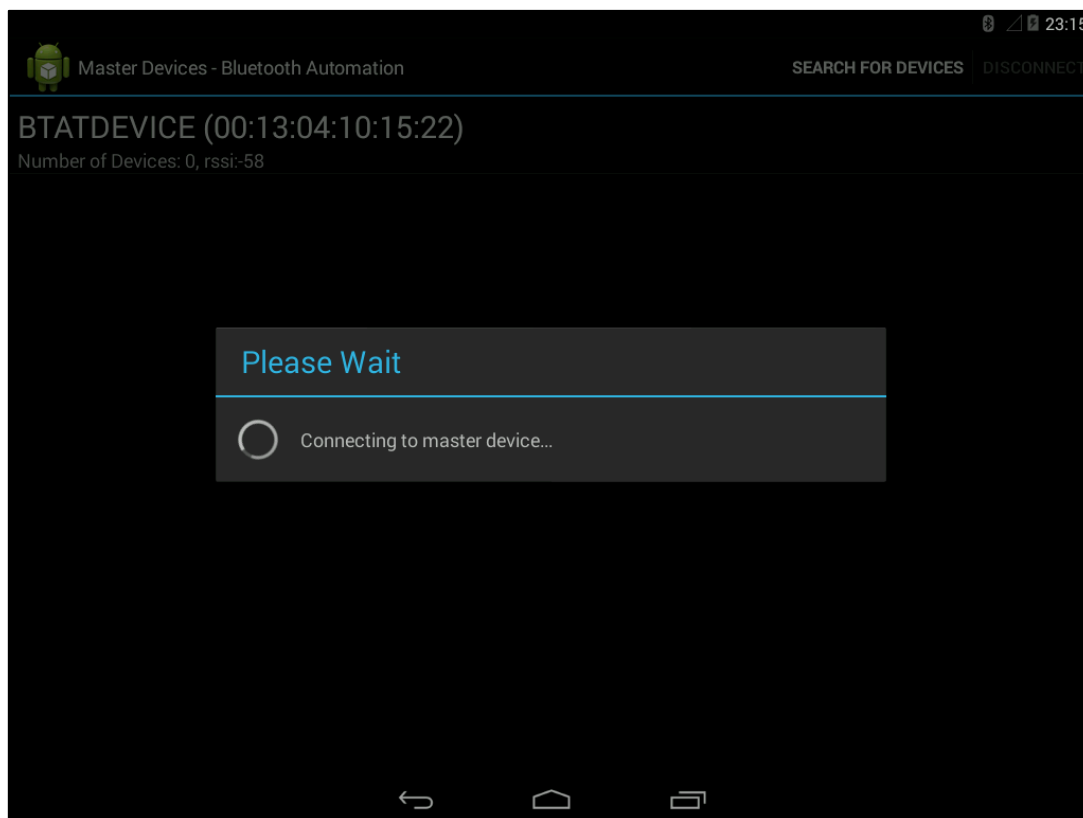


Figura 19: Mensaje de progreso mostrado al tratar de conectarse al maestro seleccionado.

Fuente: Elaboración propia.

Si se consigue realizar correctamente estas operaciones, la aplicación recibirá la información brindada por el maestro y se mantendrá conectada a la espera de instrucciones (Figura 20).

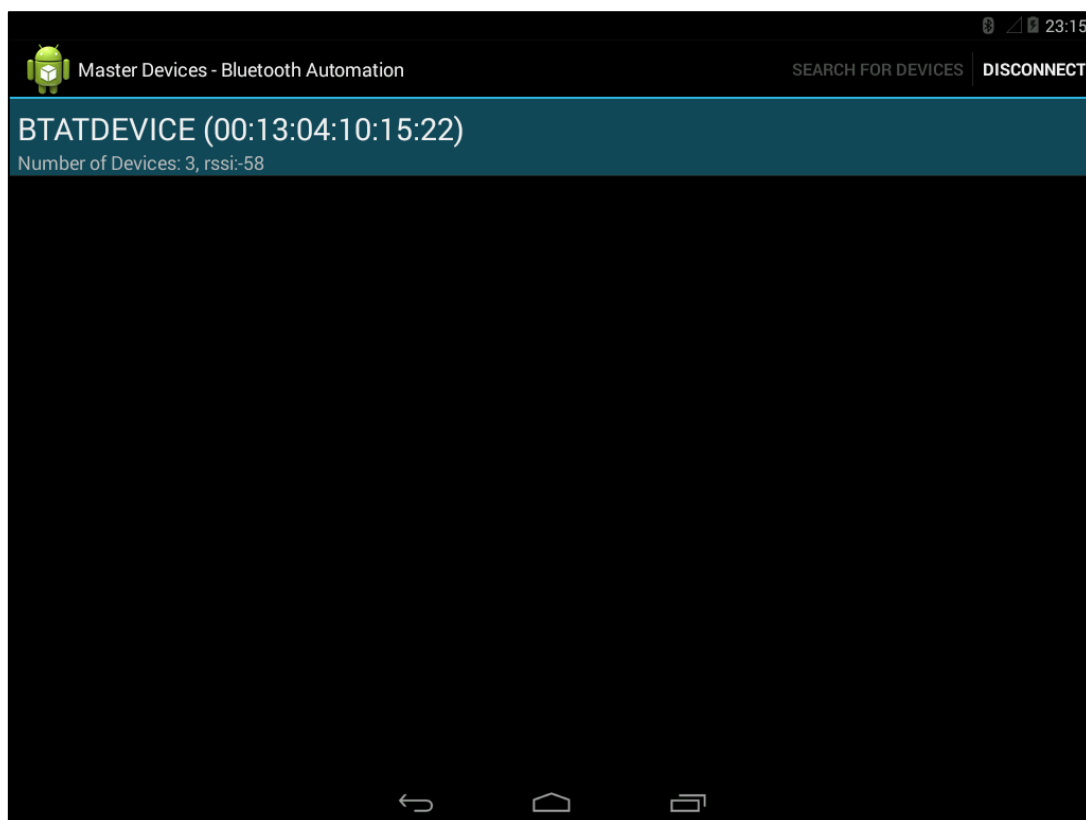


Figura 20: Pantalla principal mostrando la conexión exitosa a un maestro válido y la carga del número de dispositivos obtenida del listado recibido.

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2.2 Módulo de dispositivos

Hace uso de los dos módulos internos para listar los dispositivos conectados al maestro y cargar la información de cada uno desde el repositorio, y para enviar los comandos al maestro quien los reenviará al puente escogido.

Los puentes obtenidos del maestro aparecerán listados en el área principal y se cargarán sus datos del repositorio (Figura 21).

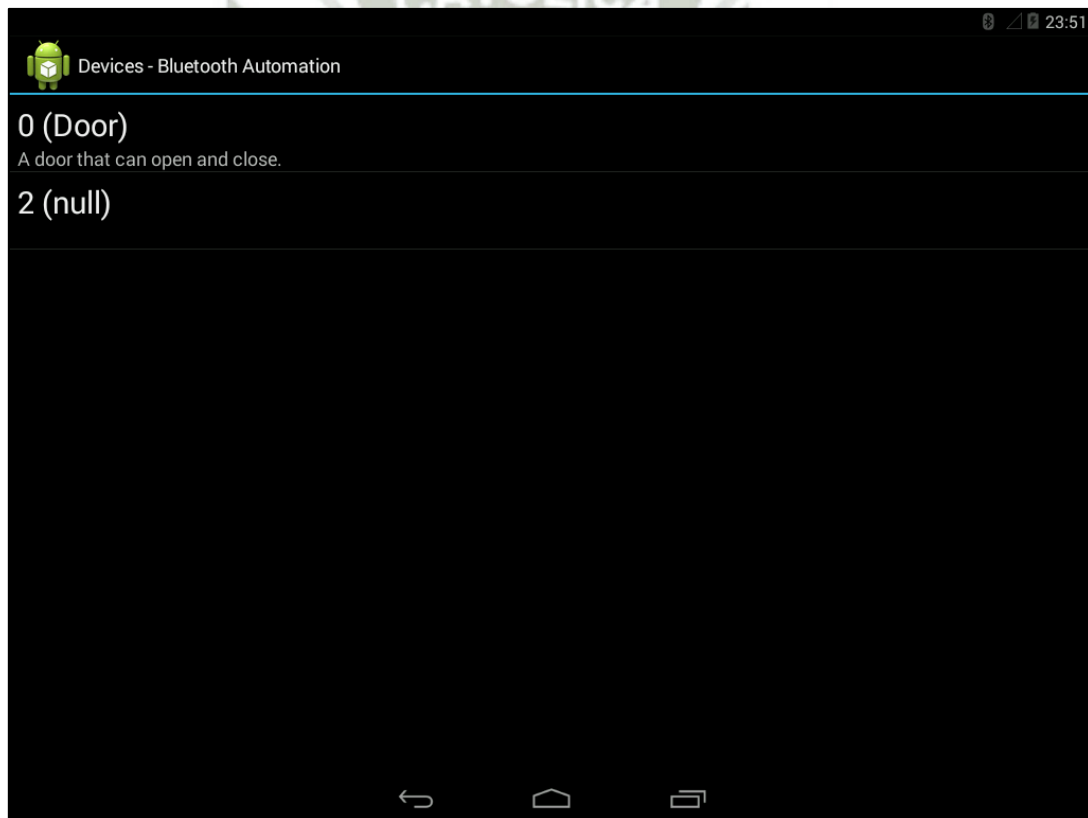


Figura 21: Listado de puentes conectados al maestro seleccionado y carga de información de cada uno desde el repositorio.

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2.3 Módulo de control

Contiene funciones que permiten enviar mensajes al aparato conectado al puente para controlarlo remotamente integrados en un conjunto de órdenes genéricas que serán traducidas a los comandos específicos que espera el dispositivo.

Al seleccionar uno de los puentes, se indicará al maestro la elección y se cargarán las funciones que puede realizar el dispositivo desde el repositorio (Figura 22).

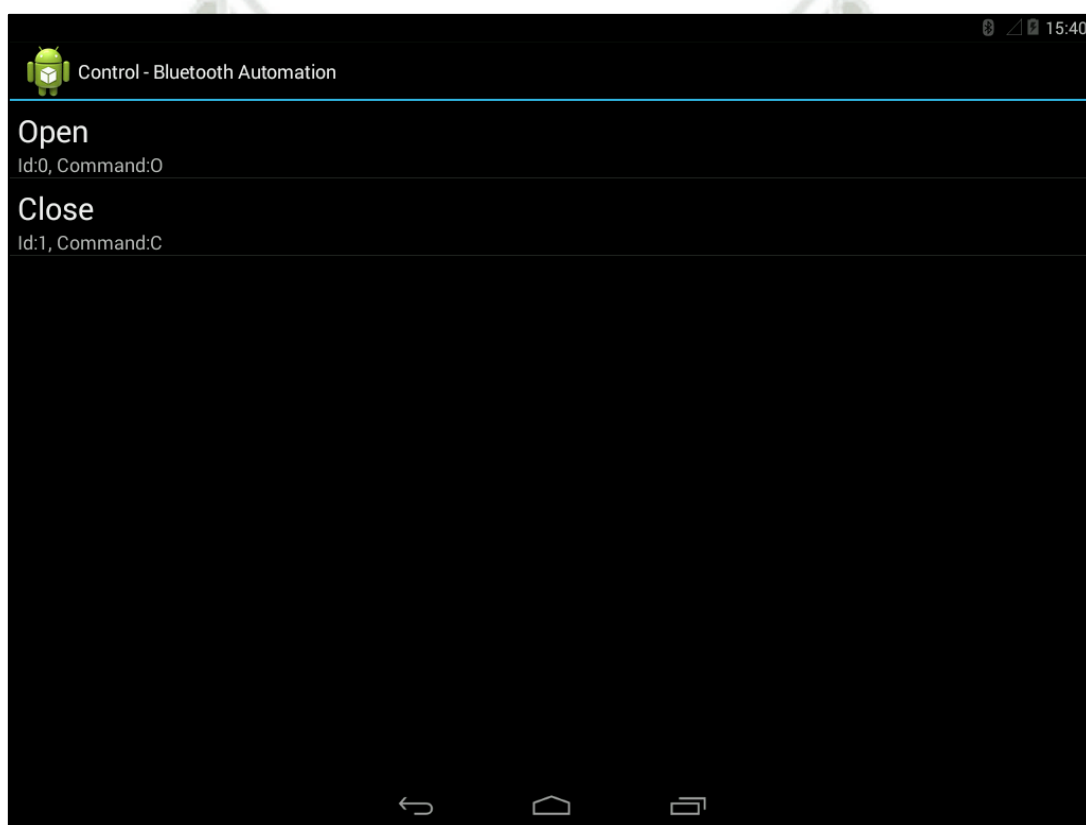


Figura 22: Comandos disponibles para el dispositivo *Door*.

Fuente: Elaboración propia.

El puente responderá con un mensaje de confirmación para cada comando reconocido y uno de error para los demás mensajes (Figura 23).

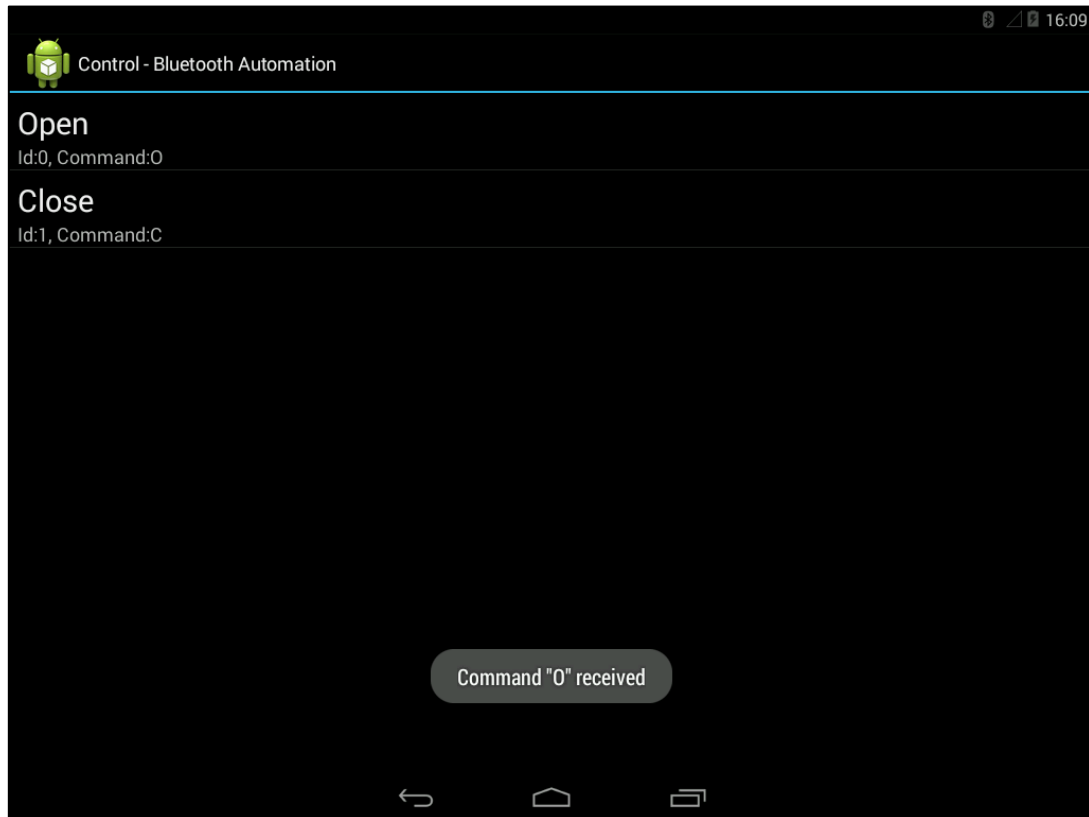


Figura 23: Confirmación simple del puente después de haber recibido un mensaje.

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2.4 Módulo de posicionamiento

Contiene funciones que permiten aproximar una ubicación relativa al maestro conectado basándose en la información de la conexión Bluetooth y en la ubicación física del mismo. Para conseguir los datos sobre la conexión es necesario desconectarse del dispositivo y hacer una nueva búsqueda, lo que permitirá aproximar una ubicación relativa al maestro.

El dispositivo se dibujará en la pantalla representado por un círculo celeste y el dispositivo móvil por uno blanco (Figura 24).

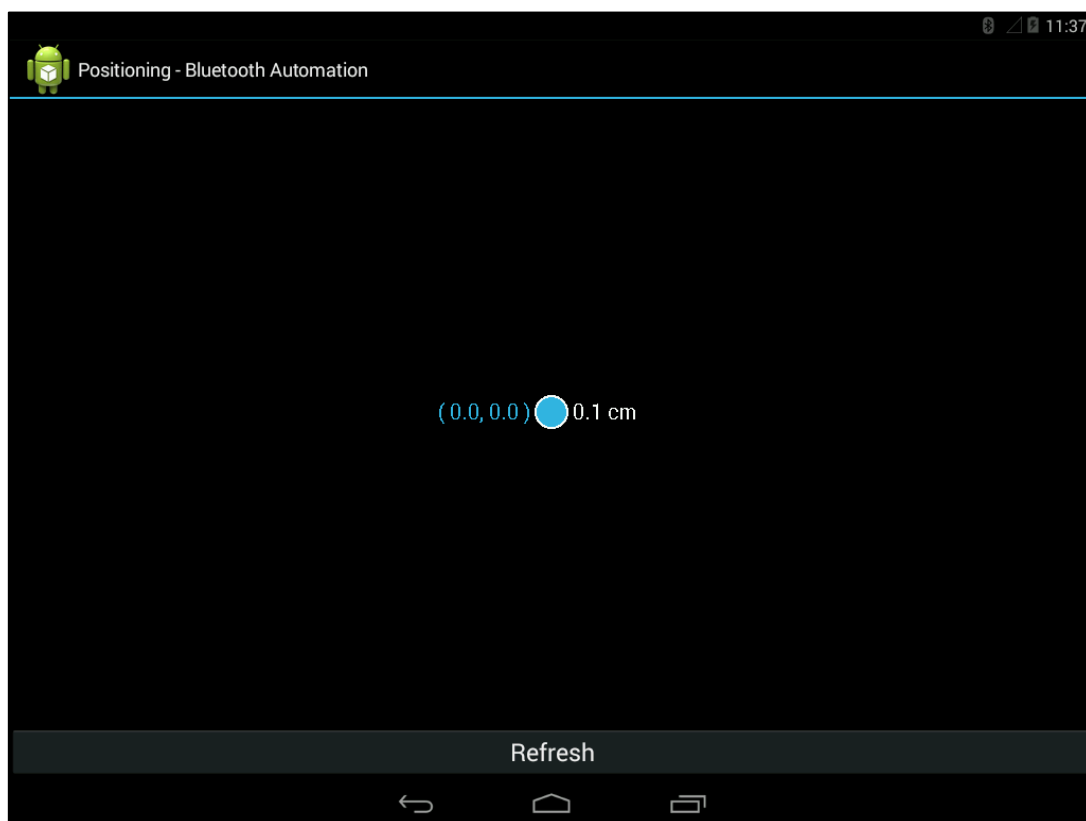


Figura 24: Estado inicial de la gráfica que muestra las ubicaciones del dispositivo maestro y el dispositivo móvil.

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica se actualizará en tiempo real mientras se hace la búsqueda de dispositivos Bluetooth. Como se trata de un único dispositivo no es posible conseguir una ubicación en el plano, por lo que se aproximará solamente la distancia a ésta (Figura 25).

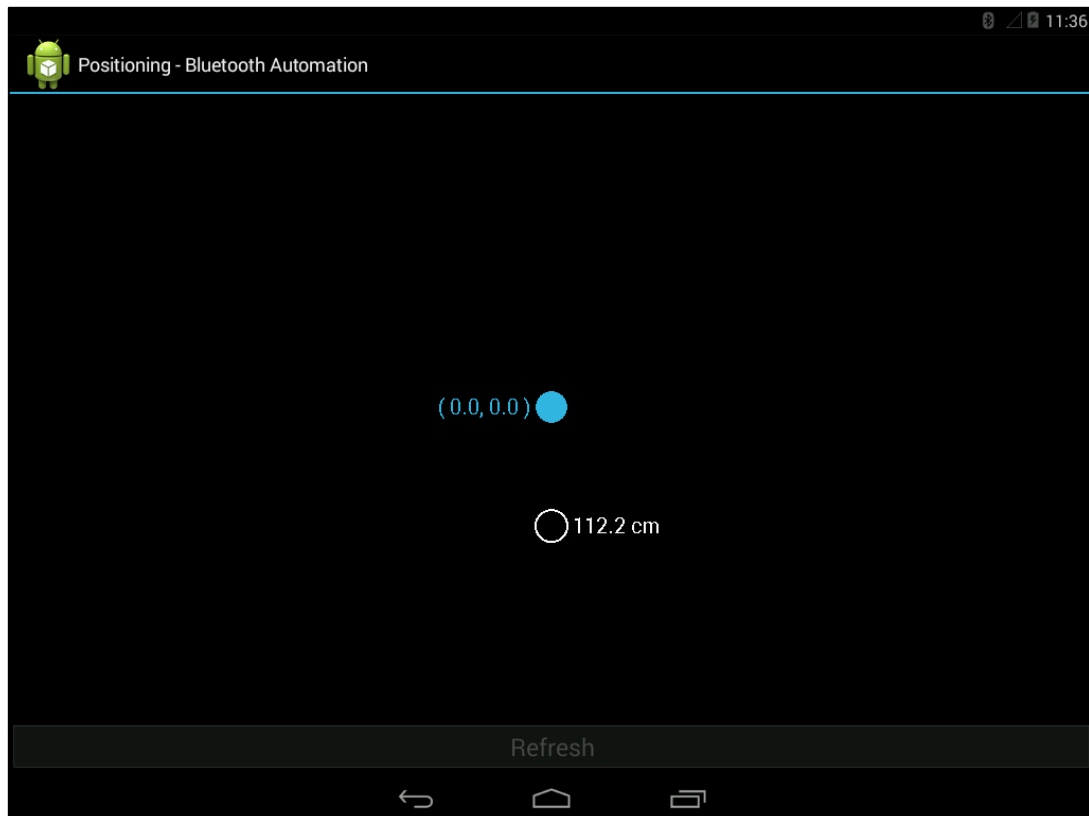


Figura 25: Gráfica actualizada mostrando la distancia aproximada del dispositivo móvil al maestro.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

1. Se implementó un sistema de integración basado en el análisis de distintos tipos de dispositivos que engloban la gran mayoría de aparatos electrónicos que existen hoy en día y se definió una estructura de tablas que permite automatizar sus funciones de manera sencilla e intuitiva.
2. Se demostró la viabilidad de la tecnología Bluetooth para la interacción con dispositivos automatizados al tener tiempos de respuesta y conexión reducidos, y una fácil integración con dispositivos Android y tableros Arduino, para formar un sistema avanzado asignando a Arduino toda la complejidad de la comunicación y a Android el control como una terminal intuitiva y sencilla de utilizar.
3. Se investigaron los precios de los componentes necesarios en el mercado y se mostró que la implementación tiene un costo muy reducido por parte de las personas que quieren utilizar el sistema en dispositivos electrónicos nuevos. De igual forma, se pudo ver cualquier usuario que no tenga ya acceso a un dispositivo Android puede obtenerlo fácilmente aun cuando no se quiera entrar en contrato con un operador.
4. Se mostró la fuerte presencia que tienen las tecnologías inalámbricas como Bluetooth y el hardware abierto como Arduino en los esfuerzos de automatización de hoy en día de cualquier entorno, ya se trate de edificios u hogares; y en el

mercado de dispositivos portátiles que dependen de un dispositivo móvil para brindar sus funciones a los usuarios.

5. Se definió un conjunto de comandos y un orden específico en que deben enviarse para lograr emparejar la aplicación móvil a un puente Arduino que sea parte del sistema y el envío de mensajes entre ellos, haciendo la conexión e identificación un proceso completamente automático.



Recomendaciones

1. Reducir el consumo de energía

Cuando se tienen encendidas constantemente las antenas Bluetooth de los dispositivos móviles, éstas consumen considerablemente la energía de las baterías, especialmente en el modo de búsqueda que se usa para el posicionamiento de los maestros. La tecnología BLE brindada por Bluetooth elimina por completo este problema, haciendo posible tener el modo de búsqueda activado indefinidamente y reduciendo el uso de batería de una conexión hasta valores mínimos. Aunque algunos dispositivos móviles no cuentan con esta tecnología, sería deseable implementar su utilización en el sistema para cuando esté disponible.

2. Extender la integración a dispositivos más complejos

Los dispositivos que pueden incluirse en el sistema descrito sólo son del tipo que interactúan físicamente con los usuarios. Aparatos más complejos, que reciban comandos a través de mensajes más elaborados y protocolos propios, podrían ser integrados al extender las tablas del repositorio para soportar una mayor variedad de tipos de mensajes tanto en envíos como respuestas o una estructura básica de protocolos comunes para hacer posible la comunicación con terminales de sistemas de información ya establecidos.

3. Utilizar otros tipos de dispositivos como puentes

Si bien los puentes utilizan los mismos tableros Arduino que los maestros, podría hacerse posible el intercambio de éstos por alternativas como Raspberry Pi y

Beaglebone (los que tienen costos más elevados), ya que el protocolo I2C utilizado en la comunicación entre maestros y puentes se encuentra implementado en virtualmente todas las plataformas de este tipo y la implementación del código de traducción de cada puente sería muy similar en cualquiera de ellas.



Referencias Bibliográficas

Bekkelien A. (2012), *“Bluetooth Indoor Positioning”*

Tesis de Maestría, Universidad de Geneva

Bluenio Ltd. (2015), *“nio Tag”*, recuperado de

<http://www.bluenio.com/products/accessories/niotag/>

Bluetooth SIG Inc. (2015), *“Bluetooth Technology Basics”*, recuperado de

<http://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics>

Chavan P., Bombale U. (2014), *“Design and Implementation of Anti Lost Bluetooth Low Energy Mobile Device for Mobile Phone”*

Cram 101 Textbook Reviews (2014), *“New Perspectives on Computer Concepts 2014 - Comprehensive”*, Just the Facts 101

El Shafee A., Alaa K. (2012), *“Design and Implementation of a Wi-Fi Based Home Automation System”*

Google Inc. (2015), *“App Engine”*, recuperado de <https://cloud.google.com/appengine/>

Google Inc. (2014), *“Discover Android”*, recuperado de

<http://www.android.com/intl/es/about/>

Google Inc. (2015), *“Google Protocol RPC Library Overview”*, recuperado de

<https://cloud.google.com/appengine/docs/python/tools/protorpc/>

Hoyle B. (2011), *“Low Energy Building Engineering”*, The English Press

Hunn N. (2013), *“To Ubiquity and Beyond”*

Hydrocarbon Asia (2013), *“Automation Systems, the Optimization Platform”*

Infantes J. (2012), *“Wireless Sensor Networks Controlled with PIC Microcontrollers and Zigbee Protocol”*

Tesis de Bachillerato, Universidad de Mikkeli de Ciencias Aplicadas

Javale D., Mohsin M., Nandanwar S., Shingate M. (2013), *“Home Automation and Security System Using Android ADK”*

Kapur J. (2013), *“Accident Prevention via Bluetooth”*

Karam M., Payne T., David E. (2007), *“Evaluating BluScreen: Usability for Intelligent Pervasive Display”*

K. L. S. Sharma (2011), *“Overview of Industrial Process Automation”*

KMC Controls (2015), *“Understanding Building Automation and Control Systems”*,
recuperado de
http://www.kmcccontrols.com.hk/products/Understanding_Building_Automation_and_Control_Systems.html

Libelium Comunicaciones Distribuidas (2015), *“Vehicle Traffic Monitoring Platform with Bluetooth Sensors over ZigBee”*, recuperado de
http://www.libelium.com/vehicle_traffic_monitoring_bluetooth_sensors_over_zigbee/

Libelium Comunicaciones Distribuidas (2015), *“Waspote Datasheet”*

Monk S. (2011), *“Programming Arduino Getting Started with Sketches”*, McGraw - Hill

Rifkin J. (1995), *“The End of Work - The Decline of the Global Labor Force and the Dawn of the Post-Market Era”*

Saranya B., Muruganandham S. (2015), *“Five Pen PC Technology”*

Sharifi M., Payne T., David E. (2006), *“Public Display Advertising Based on Bluetooth Device Presence”*

Sharma Y. (2011), *“E3-E4 Electrical”*

Sidek Z. (2005), *“An Implementation of Bluetooth Wireless Technology & IT's Application in UiTM Gymnasium”*

Tesis de Bachillerato, Universidad de Mara de Tecnología

StatCounter Global Stats (2015), *“Mobile OS Percent Market Share - World”*, recuperado de http://stats.areppim.com/stats/stats_mobiosxtime.htm

Sriskanthan N., Tan F., Karande A. (2002), *“Bluetooth Based Home Automation System”*

The ZigBee Alliance (2015), *“What is ZigBee?”*, recuperado de <http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>

Wi-Fi Alliance (2014), *“Discover and Learn”*, recuperado de <http://www.Wi-Fi.org/discover-and-learn/>

X10.com (2014), “*About X10*”, recuperado de <http://www.x10.com/about-us/>

XINCA Tech Services Ltd. (2015), “*Key Elements in Intelligent Buildings*”, recuperado de <http://xinca.com/elements-intelligent-buildings-2734.html>

XMPP Standards Foundation (2015), “*Publish-Subscribe*”, recuperado de <http://xmpp.org/extensions/xep-0060.html>

Zonith A/S (2015), “*ZONITH Indoor Positioning Module*”

Zonith A/S (2015), “*ZONITH Indoor Positioning System*”, recuperado de <http://www.zonith.com/products/zonith-indoor-positioning-module/>



Anexo A

Glosario de Términos

Android ADK: Android Accessory Development Kit, es una implementación de referencia con código fuente y especificaciones de hardware, para la construcción de accesorios para Android.

BLE: Bluetooth Low Energy, es una tecnología diseñada para proveer un consumo de energía y costos reducidos considerablemente, y manteniendo rangos de comunicación similares en comparación a la tecnología Bluetooth clásica.

Beaglebone: es una computadora contenida en un único tablero electrónico, producida por Texas Instruments, y desarrollado como un tablero educacional para la enseñanza de las capacidades del software y hardware abiertos.

I2C: Inter-Integrated Circuit, es un protocolo de comunicación serial diseñado por Philips Semiconductor para el envío de mensajes de baja velocidad entre dispositivos periféricos y microcontroladores.

IR: Infrared, es un tipo de radiación electromagnética invisible utilizable en el envío de información entre dispositivos electrónicos, aplicada comúnmente a la comunicación entre controles remotos y electrodomésticos.

JSON: JavaScript Object Notation, es un formato estándar que utiliza texto legible por humanos para la transmisión de datos consistentes en pares de atributos y valores, y utilizado comúnmente en la comunicación entre servidores y navegadores web.

LED: Light-Emitting Diode, es un diodo que emite luz cuando es activado a través de la electroluminiscencia de los semiconductores que lo conforman, los mismos que definirán el color según los materiales de los que se encuentren fabricados.

Publicar-suscribir: Es un patrón de mensajes donde los remitentes, llamados publicadores, publican sus mensajes sin conocimiento de los receptores, y estos últimos, llamados suscriptores, reciben sólo los mensajes que sean de su interés.

RPC: Remote Procedural Call, es la ejecución de una subrutina en un ordenador distinto al que inicia la llamada, utilizado en las interacciones cliente-servidor a través de un sistema de mensajes solicitud-respuesta.

RSSI: Received Signal Strength Indicator, es un indicador de la intensidad de energía presente en una señal de radio recibida, disponible para su análisis en la gran mayoría de tecnologías inalámbricas.

Raspberry Pi: es una computadora contenida en un único tablero, desarrollada por la Fundación Raspberry Pi, creada con la intención de promover la enseñanza de ciencias de la computación en escuelas y países en desarrollo.