



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica industrial y Automática

**Sistema de balizas con tecnología Bluetooth
de bajo consumo y su aplicación para facilitar
a personas ciegas o con discapacidad visual
la identificación y localización de lugares u
objetos.**

Autor:

González Rodríguez, Rafael.

Tutor:

Mena Rodríguez, José Manuel

Tecnología Electrónica

Valladolid, Junio y 2018.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



“Puedes llegar a ser lo que quieras. Recuerda, no hay cosa más triste en la vida que el talento malgastado”

Lorenzo a Calogero, Una historia del Bronx.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera mostrar mi agradecimiento hacia las diferentes personas que de alguna manera me han prestado su ayuda desinteresada durante todos estos años en los que me he estado formado, académicamente y personalmente.

En primer lugar a mis padres (Rafael y Pilar) y hermanos (Francisco e Ignacio), sin los que nada de esto hubiera sido posible. Gracias por el apoyo que me han dado durante estos años y por siempre confiar en mí.

A mis amigos del barrio, Juanma, Manuel, Nacho y Roberto por creer en mí y apoyarme en todo momento y ser la mejor vía de escape posible. Cabalgamos juntos morimos juntos.

A Noelia, por estar siempre a mi lado y creer en mí incondicionalmente en los buenos y en los malos momentos. Por ser una de mis principales motivaciones.

A Luis Martínez, por todo lo que me ha ayudado durante estos años de carrera. Por los grandes momentos que hemos pasado juntos. Sin él, sin la obligación mutua y sin las chanzas todo habría sido mucho más difícil.

A José Luis Orantes, profesor de Física, química y electrónica del IES Zorrilla de Valladolid. Por ser la persona que hizo buena la frase de *Lorenzo a Calogero*.

A todo el cuerpo docente de la Escuela de Ingenierías Industriales por todo lo que nos han enseñado y en especial a mi tutor José Manuel Mena.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



RESUMEN

Se ha planteado una aplicación para dispositivos móviles que ayude a personas con discapacidad visual, total o parcial, a orientarse en espacios cerrados. Se ha utilizado la tecnología bluetooth low energy para ello. Es una tecnología inalámbrica de bajo consumo y fácil utilización.

La aplicación guiara por el interior de edificios a los usuarios. El dispositivo móvil se comunicara con balizas mediante bluetooth low energy para ir obteniendo las diferentes indicaciones dependiendo del lugar en el que se encuentre el usuario y su destino. Las indicaciones se irán recogiendo de una base de datos cada vez que el dispositivo móvil localice una baliza.

Se ha realizado una aplicación para simular el comportamiento. Se muestra la ubicación de las diferentes balizas, como será la interacción usuario-dispositivo móvil y las diferentes indicaciones obtenidas en cada momento dependiendo del destino y la ubicación del usuario.

PALABRAS CLAVE

Bluetooth low energy, Baliza, Potencia de emisión, Consumo energético, Aplicación.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Índice

1. Introducción	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Estructura de la memoria	2
2. Tecnología Actual (Estado del arte).....	5
2.1 Tecnologías inalámbricas	5
2.1.1 GPS.....	5
2.1.2 Bluetooth de baja energía	6
2.1.3 Wi-Fi.....	12
2.1.4 NFC.....	13
2.1.5 ZigBee	14
2.1.6 Comparativa de tecnologías.....	16
2.2 Sistemas operativos.....	17
2.2.1 iOS	17
2.2.2 Android.....	18
3. IOT.....	19
4. Balizas o Beacons.....	23
4.1 Consumo de energía	23
4.1.1 Consumo dispositivos móviles	24
4.1.2 Consumo de energía Beacons o balizas	26
4.2 Hardware.....	27
4.3 Firmware	31
4.4 Arquitectura	31
4.4.1 iBeacon	32
4.4.2 Eddystone	32
5. Aplicaciones actuales.....	37
6. Aplicación posible (Alejandría).....	41
6.1 Aplicación.....	42
6.2 Tecnologías empleadas.	42
6.2.1 Dispositivo móvil	42



6.2.2 Baliza o Beacon	43
6.3 Posible solución 1.....	58
6.3.1 Requisitos funcionales.....	59
6.3.2 Casos de uso.....	60
6.3.3 Lógica	66
6.3.4 Baliza	70
6.3.5 Geo-Localización: Trilateración.....	72
6.3.6 Error en la medición	81
6.4 Posible solución 2.....	82
6.4.1 Requisitos funcionales.....	84
6.4.2 Casos de uso.....	85
6.4.3 Lógica	92
6.4.4 Baliza	93
6.4.5 Geo-Localización: Guiado por puntos.	94
6.4.6 Aplicación simulada	97
6.5 Comparación de soluciones.....	111
7. Conclusiones	113
8. Bibliografía.....	115
Anejos.....	119



Índice de figuras

<i>Figura 1 - Esquema del cálculo de trilateración.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2 - Proceso de Advertising</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3 - BLE comunicando a todos los dispositivos de su alrededor.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4 - Modo conectado</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5 - Transiciones GATT.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6 - Traza de un mensaje en una comunicación inalámbrica.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7- Baliza de marca Estimote.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8 - Gasto de batería de distintos modelos de móviles dependiendo la cantidad de balizas publicando.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 9 - Tiempo de vida de diferentes balizas.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 10 - Tipos de fuente de energía.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11 - Posición de las balizas en el metro de Londres para la aplicación Wayfindr.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12 - Pantallazo de la aplicación DONAK.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 13 - Datos de los que se vale la aplicación Situm para geo-localizar a los usuarios.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 14 - Aspecto de la baliza IBKS PLUS.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 15 - Aspecto de la baliza IBKS USB.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 16 - Aspecto de la baliza proximity beacons de la marca estimote.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 17 - Aspecto de la baliza stickers de la marca estimote.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 18 - Aspecto de la baliza TOUGH BEACON de la marca kontakt.io.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 19 - Aspecto de la baliza CARD BEACON de la marca kontakt.io.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 20 - Aspecto de la baliza ARUBA BEACON.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 21 – Aspecto de la baliza ReYeBu</i>	<i>52</i>
<i>Figura 22 – Aspecto de la baliza MRMRACKET</i>	<i>53</i>
<i>Figura 23 - Diagrama casos de uso. Solución 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 24 - Análisis gráfico trilateración.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 25 - Plano planta baja EII sede Fco. Mendizábal.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 26 - Plano con medidas de la planta baja de la EII sede Fco. Mendizábal.</i>	<i>78</i>



<i>Figura 27 - Plano con la ubicación de las balizas en la planta baja de la EII sede Fco. Mendizábal. Solución 1.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 28 - Plano con el área cubierto por 8 balizas en la planta baja de la EII sede Fco. Mendizábal. Solución 1.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 29 - Base de datos Solución 2.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 30 - Diagrama casos de uso. Solución 2.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 31 - Relatividad del concepto de dirección.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 32 - Ubicación de las balizas en la solución 2.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 33 - Pantalla principal y secundaria de la aplicación.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 34 - Botones de la pantalla principal de la aplicación.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 35 - Botones pantalla secundaria de la aplicación.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 36 - Aplicación en modo escucha.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 37 - Ejemplo de utilización base de datos.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 38 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación para llegar a la EII.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 39 - Secuencia de guardado del destino en la aplicación.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 40 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 1 a la baliza 2.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 41 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 2 a la baliza 3.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 42 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 3 a la baliza 6.</i>	<i>106</i>
<i>Figura 43 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 6 hasta la biblioteca.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 44 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación cuando se ha desorientado.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 45 - Guardar un nuevo destino en la aplicación.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 46 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la biblioteca hasta la baliza 6.....</i>	<i>110</i>



Índice de tablas

Tabla 1 - Clasificación Bluetooth según su clase.	6
Tabla 2 - Clasificación Bluetooth según su capacidad de canal.	7
Tabla 3 - Comparativa tecnología de comunicación inalámbrica.....	16
Tabla 4 - Consumo de batería cantidad de beacons/modelo móvil Android. .	24
Tabla 5 - Consumo de batería cantidad de beacons/modelo móvil iOS.....	25
Tabla 6 - Comparativa SoC.....	30
Tabla 7 - Trama de datos protocolo iBeacon.	32
Tabla 8 - Código de bytes de extensión Url.	34
Tabla 9 - Distancia alcanzada por Potencia de emisión en la baliza IBKS PLUS.	44
Tabla 10 - Distancia alcanzada por Potencia de emisión en la baliza IBKS USB.	46
Tabla 11 - Comparativa de características de balizas.	54
Tabla 12 – CU0-Escanear. Solución 1.....	61
Tabla 13 – CU1-Baliza encontrada. Solución 1.....	62
Tabla 14 – CU3-Punto de partida. Solución 1.	63
Tabla 15 – CU3-Destino. Solución 1.....	64
Tabla 16 – CU4-Guiado. Solución 1.....	65
Tabla 17 – CU6-Llegada al destino. Solución 1.....	66
Tabla 18 - Fuente de energía por modelo analizado.....	70
Tabla 19 - Coste de instalación de 100 balizas por modelo analizado.	70
Tabla 20 - Gastos de mantenimiento durante 5 años en los modelos de baliza analizados.....	71
Tabla 21 - Gastos de mantenimiento durante 10 años en los modelos de baliza analizados.....	71
Tabla 22 - Gastos de mantenimiento durante 12 años en los modelos de baliza analizados.....	71
Tabla 23 - CU0-Escanear. Solución 2.....	86
Tabla 24 - CU1-Edificio encontrado. Solución 2.....	87
Tabla 25 – CU2-Edificio encontrado. Solución 2.....	88
Tabla 26 – CU3-Baliza encontrada. Solución 2.....	89



<i>Tabla 27 – CU4-Baliza encontrada. Solución 2.</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 28 - CU5-Edificio encontrado. Solución 2.</i>	<i>91</i>



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



1. Introducción

1.1 Motivación

En el mundo hay alrededor de 285 millones de personas que presentan una discapacidad visual, de los cuales 39 son personas ciegas y 246 tienen un grado de pérdida de la visión.

Según la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10, actualización y revisión de 2006), la función visual se subdivide en 4 niveles diferentes:

- Visión normal.
- Discapacidad visual moderada.
- Discapacidad visual grave: Pérdida parcial del sentido de la vista.
- Ceguera: Pérdida completa del sentido de la vista.

La aplicación está enfocada hacia las personas que sufren una discapacidad visual grave o una ceguera. Este proyecto trata de capacitar a personas con estos problemas, darles la oportunidad de poder moverse por el mundo de forma autónoma e independiente

El mayor desafío al que se enfrentan es conseguir una autonomía plena en sus vidas. La falta de esta o la imposibilidad de acudir a lugares por miedo crea en estas personas graves consecuencias como el aislamiento o la depresión. Un estudio llevado a cabo en Reino Unido revela que casi el 50% de las personas con discapacidad visual querrían salir de su casa con mayor frecuencia que con la que lo hacen.

Las personas que padecen de una discapacidad visual grave o la ceguera total tienen grandes dificultades para orientarse en ubicaciones con las que no están familiarizados. Si bien en la calle un perro guía o un bastón son de gran ayuda para llegar a su destino, también pueden ser ayudados por la tecnología GPS para su guiado. Pero si nos encontramos en un lugar cerrado, incluso bajo tierra como en el metro, esta tecnología no es válida.

Por lo tanto se debe encontrar otra tecnología que no depende de la comunicación con satélites o con la red internet.

Se ha pensado en la utilización del *Bluetooth Low Energy*. Mediante una aplicación móvil que vaya comunicándose con una serie de *Beacons* o balizas. Estarán ubicadas en puntos estratégicas para que una vez que el móvil las reconozca este cante las indicaciones al usuario.



El *Bluetooth* de baja energía es una nueva tecnología digital de radio inalámbrica. Su principal ventaja y por la que toma su nombre, es la poca energía que consume y la buena distancia de alcance que tiene.

1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo fin de grado es realizar un estudio teórico de una posible aplicación móvil para el guiado de personas con algún tipo de discapacidad visual en espacios cerrados.

-Estudio de todas las tecnologías inalámbricas actuales así como de los diferentes sistemas operativos para dispositivos móviles que hay en el mercado. Se realiza una comparación de las tecnologías inalámbricas buscando pros, contras y diferencias entre ellas.

-Se analizarán las *beacons* o balizas, como funcionan a nivel de *hardware* y a nivel *software*.

-Estudio de las diferentes aplicaciones que hay en estos momentos funcionando. Observando en qué ámbitos de la vida están implementadas.

-Presentar una posible aplicación que lleve a cabo el guiado por el interior de edificios a personas con discapacidad visual. Se realizará un estudio de mercado entre las diferentes balizas que existen. Se plantean las funcionalidades de la aplicación así como los diferentes métodos que se emplearían para la geolocalización o guiado.

-Plantear una posible instalación en la Escuela de Ingenierías Industriales.

1.3 Estructura de la memoria

Esta memoria está estructurada en 8 Apartados y un anexo final:

-Apartado 1: Introducción. Breve explicación de cuál ha sido la motivación que ha llevado a hacer este proyecto, cuáles han sido los objetivos y su estructura.

-Apartado 2: Tecnología actual. Se realiza un estudio del estado actual de la tecnología que a este proyecto afecta. Análisis del estado de las comunicaciones inalámbricas y de los sistemas operativos para dispositivos móviles.

-Apartado 3: *IoT*. Se explica en qué consiste el internet de las cosas (*Internet of things, IoT*) y de qué se compone.



-Apartado 4: Balizas o *Beacons*. Se estudia que es una baliza y de que está compuesta. Se explicara el *hardware* y el *software* que compone una baliza. El consumo de energía de estos dispositivos.

-Apartado 5: Aplicaciones actuales. Se hace un recorrido por las aplicaciones de guiado de personas en espacios cerrados que existen en la actualidad.

-Apartado 6: Posible aplicación. Se plantea cómo debería ser la posible aplicación. Se realiza un estudio de mercado para seleccionar la baliza más adecuada para los requerimientos de la aplicación. Se definen las funcionalidades de la aplicación. Se plasma cual será la ubicación de las balizas en la Escuela de Ingenierías Industriales.

-Apartado 7: Resultados y conclusiones. En este apartado se hace un balance de todo lo recopilado a partir del estudio realizado y las conclusiones a las que se hayan llegado.

-Apartado 8: Bibliografía. Se detalla las referencias bibliográficas que se han ido utilizando durante el desarrollo del trabajo fin de grado.

-Anexo: Además de los 8 apartados anteriores se añadido un anejo donde se adjuntaran ciertas informaciones que se han ido utilizando.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



2. Tecnología Actual (Estado del arte)

Se van a analizar cuáles son las tecnologías inalámbricas existentes que podrían ser válidas para el propósito del guiado de personas.

2.1 Tecnologías inalámbricas

Se va a realizar una comparativa entre todas las tecnologías actuales.

2.1.1 GPS

El sistema de posicionamiento global o GPS es un sistema que permite conocer la posición exacta de un objeto en toda la superficie de la tierra con una precisión incluso de centímetros. Fue desarrollado por el departamento de defensa estadounidense.

El GPS se vale de 24 satélites que están en órbita sobre la tierra. Tienen trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra.

El sistema usa la técnica de la trilateración para determinar la posición del objeto en cuestión.

Trilateración:

Se utilizan 3 satélites, cada uno de ellos lanzara una onda buscando una respuesta del receptor que indicara cual es el radio de la circunferencia con centro en el satélite que se forma hasta el objeto, es decir la distancia del satélite al objeto. El punto de corte entre las 3 ondas de los satélites será el lugar donde se encuentra ubicada la persona o el objeto Figura [1]. Además se podría utilizar un cuarto para calcular el error.

Las carencias principales del GPS aparecen cuando intentamos hacer posicionamientos a pequeña escala o posicionamientos en lugares cerrados. Los satélites con los que se realiza la comunicación para hallar la posición no son capaces de atravesar las estructuras de los edificios, haciendo imposible una localización exacta en un lugar cerrado.

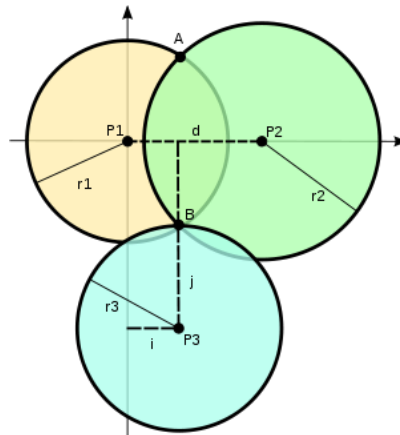


Figura 1 - Esquema del cálculo de trilateración.

Fuente: es.wikipedia.org

2.1.2 Bluetooth de baja energía

Bluetooth es uno de los protocolos inalámbricos más populares y conocido por los usuarios. Lleva más de una década presente en los *smartphone*, computadoras y otros muchos dispositivos. Posibilita la transmisión de datos entre diferentes dispositivos. Utiliza un enlace de radiofrecuencia en la banda *ISM* de los 2.4 GHz para realizar la comunicación. Elimina los cables, facilita la sincronización de datos entre terminales y equipos móviles. Las desventajas que esta tecnología ofrece es su alto consumo de energía, tiempo de conexión con algunas aplicaciones y el corto alcance.

Se pueden clasificar en diferentes clases dependiendo de la potencia de transmisión del *bluetooth*:

Clase	Potencia máxima permitida (mW)	Potencia máxima permitida (dBm)	Alcance (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	~100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~5-10 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

Tabla 1 - Clasificación Bluetooth según su clase.

Se pueden clasificar según su capacidad de canal:

Versión	Ancho de banda (BW)
Versión 1.2	1 Mbit/s
Versión 2.0 + EDR	3 Mbit/s
Versión 3.0 + HS	24 Mbit/s
Versión 4.0	32 Mbit/s

Tabla 2 - Clasificación Bluetooth según su capacidad de canal.

Todas las versiones de los estándares de *Bluetooth* están diseñadas para la retro compatibilidad, que permite que el último estándar cubra todas las versiones anteriores. Por esta razón se van hacer una pequeñas indicaciones de todas las versiones previas al *Bluetooth low energy* o BLE, ya que esta tendrá integrada las versiones anteriores.

- *Bluetooth v1.0 y v1.kb*

Esta fue la primera versión y tuvo muchos problemas. Incluía en *hardware* de forma obligatoria la dirección del dispositivo en la transmisión, lo que hacía imposible el anonimato.

- *Bluetooth v1.1*

Añade soporte para canales no cifrados, indicador de señal recibida y corrige errores en las especificaciones del anterior.

- *Bluetooth V1.2*

Esta es la primera versión compatible con USB 1.1. Consigue una conexión más rápida y detecta a otros dispositivos. Obtiene una velocidad de transmisión mayor que en las versiones anteriores 721 KBIT/s.

- *Bluetooth v2.0*

Introduce una velocidad de datos mejor, para acelerar la transferencia de datos. La tasa de transferencia es de 2.1 Mbit/s en la práctica. El gasto de energía se reduce.



- *Bluetooth v2.1*

Aumenta el uso y fuerza de la seguridad así como se mejora el filtrado de los dispositivos antes de realizar la conexión.

- *Bluetooth v3.0*

Soporta una velocidad de transferencia de datos de 24 Mbit/s, aunque la transferencia de datos se hace mediante un enlace 802.11. Esta es su principal novedad, la adición de 802.11 como transporte de alta velocidad.

La radio *Bluetooth* se utiliza para la detección de dispositivos la conexión y la configuración, pero para el envío de grandes cantidades de datos se utiliza el enlace 802.11.

El estándar *IEEE 802.11* define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura o modelo *OSI* (capa física y capa de enlace de datos), especificando las normas de funcionamiento de una red de área local inalámbrica (*WLAN*).

- *Bluetooth v4.0*

Bluetooth de bajo consumo (*Low energy*) o 4.0 introduce una radio diferente, utiliza mucha menos energía y es más barata. Este es uno de los aspectos más poderosos de *BLE* con su flexibilidad, permite intercambiar información de forma genérica a diferencia de la forma rígida del *bluetooth* clásico.

Se ha diseñado de una manera complementaria al *bluetooth* clásico para conseguir un ahorro de energía. Aunque se sigue hablando de la marca *bluetooth* se podría decir que es una tecnología diferente, tiene otros objetivos y finalidad.

Este *Bluetooth* está diseñado y pensado para realizar pequeñas conexiones en las que se transmita una pequeña cantidad de datos, simplemente conectarse para realizar la transmisión de datos y desconectar. De esta manera se reduce el tiempo de conexión entre dispositivos y se reduce el consumo de energía. El dispositivo solo “despierta” para realizar intercambio de datos el resto del tiempo se mantiene “dormido”.

El *BLE* es soportado en la gran mayoría de sistemas operativos a partir de las siguientes versiones:

- *iOS5+*
- *Android 4.3+*



- *Apple OS X 10.6+*
- *Windows 8*
- *GNU/Linux Vanilla BlueZ 4.93+*

En la conexión del *BLE* hay dos dispositivos diferenciados, los periféricos y un dispositivo central. En este caso los periféricos se les podrían denominar “pequeños”. Son dispositivos de baja potencia y recursos, que se conectan a un dispositivo central más potente, con una capacidad de procesamiento mucho mayor.

El *BLE* tiene dos maneras de transmitir la información, la realiza a través del *GAP* (perfil de acceso genérico). Este tiene como objetivo garantizar la interoperación en la conexión de radio y para establecer, mantener y liberar las comunicaciones. El *Advertising Data payload* y el *Scan Response payload* son las dos posibles maneras de transmitir información.

Ambas formas pueden conectar hasta 31 bytes, pero solo es obligatorio el *Advertising Data payload*, ya que es el que transmite el periférico de una manera continua, para dar a conocer su presencia a los dispositivos centrales que están escuchando. El *Scan Response payload* es algo opcional ya que es un escaneo desde el dispositivo central y permite que los periféricos manden información extra más que simplemente un eco de que se encuentran allí.

El proceso de *advertising* se da cuando un periférico emite su *Advertising Data payload* en intervalos regulares, los cuales son programables. En cada uno de esos intervalos definidos el periférico emitirá su *Advertising Data payload*. Dependiendo como sean estos intervalos se obtendrá un periférico con mayor autonomía o un periférico más reactivo. Con intervalos mayores el gasto de energía es menor y con intervalos menores el periférico es más reactivo.

Si el dispositivo central necesita más información que la que emite el periférico en su *Advertising Data payload*, este emitirá el *Scan Response payload* y el periférico responderá con la información adicional, en el caso de que la tenga. En la Figura [2] se puede ver este proceso.

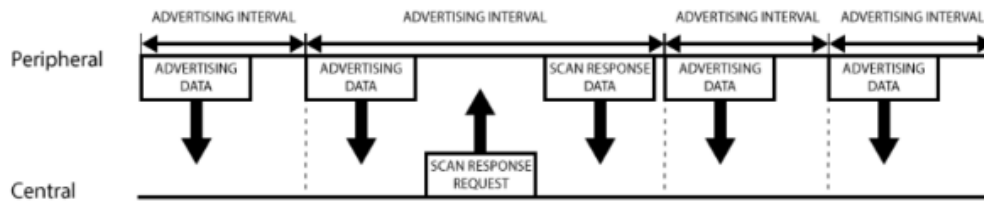


Figura 2 - Proceso de Advertising

Fuente: www.solidgeargroup.com

Hasta el momento los dispositivos *Bluetooth* se anunciaban mandando señales para ser localizados y establecer una conexión con un dispositivo central. Pero si solo se quiere anunciar unos datos (*Advertising*) sin realizar una conexión, un periférico puede simplemente transmitir datos sin realizar ninguna conexión, consiguiendo que estos datos les puedan llegar a más de un dispositivo central. Esto es posible utilizando el modo *Advertising Data payload* ya que si realizamos una conexión los datos solo podrán ser visualizados por los dos dispositivos que realizan dicha conexión.

Se puede programar un periférico *BLE* para que mande datos unidireccionalmente a dispositivos centrales que se encuentren dentro de su rango de alcance. Se introduce una cantidad de datos personalizados en los 31 bytes del *Advertising*. Se podría decir que el periférico manda un mensaje dentro de su rango y lo puede escuchar todo el que quiera y este dentro de este rango Figura [3]. En el momento que dos dispositivos realizan una conexión el proceso de *advertising* se detiene, y comienzan a usar los servicios y características del *GATT* para realizar la comunicación bidireccional.

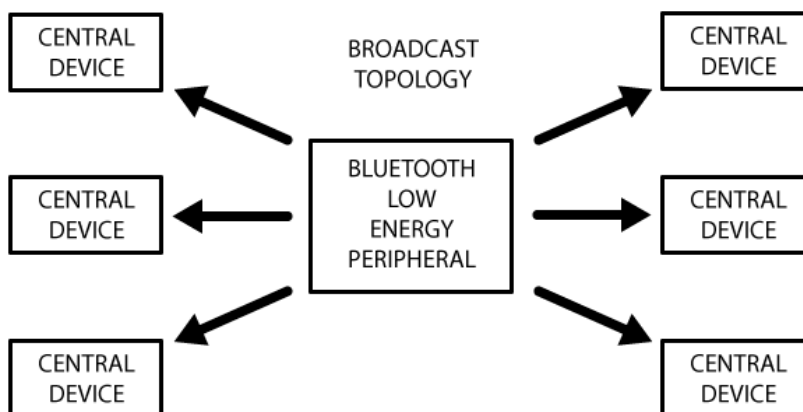


Figura 3 - BLE comunicando a todos los dispositivos de su alrededor.

Fuente: www.solidgeargroup.com

El *GATT* (*Generic Attribute Profile*) define como dos dispositivos *BLE* se pueden comunicar usando los servicios y características. Esta comunicación se realiza mediante el protocolo conocido como *ATT*.

El *GATT* se usa una vez que se ha realizado conexión entre dos dispositivos. Lo más importante es que las conexiones son exclusivas, un periférico solo puede conectarse a un dispositivo central a la vez. Esto quiere decir que en el momento en que el periférico se conecte con el dispositivo central se cancela el proceso de *advertising*, por lo que otros dispositivos ya no podrán verlo o conectarse con él, hasta que la conexión finalice y quede liberado. La comunicación bidireccional solo se puede realizar mediante una conexión.

Los dispositivos centrales en cambio sí que pueden mantener más de una conexión a la vez con los periféricos Figura [4].

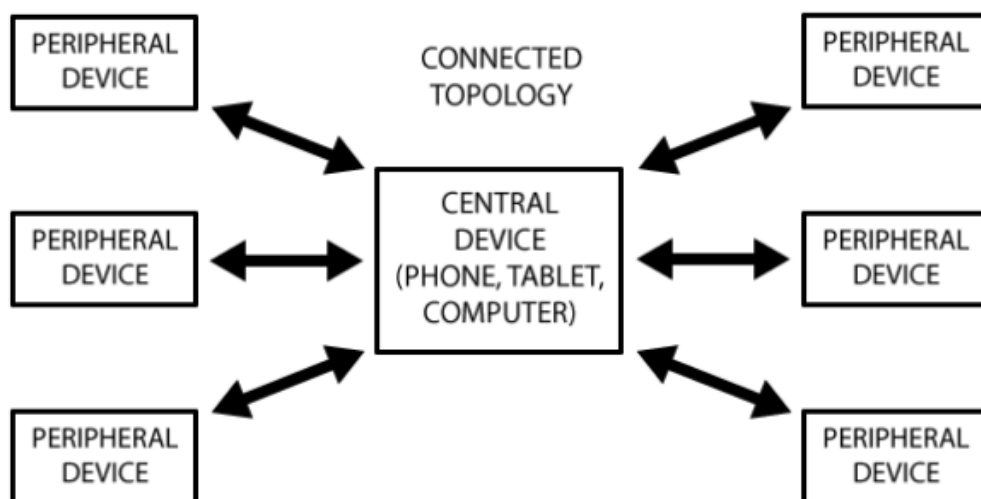


Figura 4 - Modo conectado

Fuente: www.solidgeargroup.com

En este caso si hubiera que intercambiar datos entre dos periféricos, tendrían que realizarla a través del dispositivo central.

Cuando se realiza una conexión, tendremos el servidor *GATT* que contiene los datos de la búsqueda y tendremos el cliente *GATT* que es quien envía las solicitudes al servidor. En nuestro caso tendríamos un servidor que sería el periférico y un cliente que sería el dispositivo central. Todas las transacciones de información las empieza el cliente y recibe la contestación del servidor.

Cuando se establece una conexión el periférico establece un intervalo de conexión y el dispositivo central intentará ver si hay nuevos datos disponibles en cada intervalo. Pocas veces podrá cumplir el intervalo ya que los recursos del sistema no siempre estarán disponibles.

En este caso es el dispositivo central (el Cliente GATT) el que inicia las transiciones de comunicación mandando un *Request* y el periférico (el servidor GATT) contestando Figura [5].

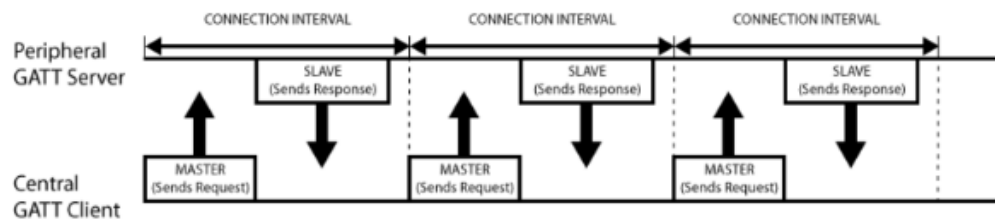


Figura 5 - Transiciones GATT

www.solidgeargroup.com

2.1.3 Wi-Fi

La *Wi-Fi* es una de las tecnologías que de un tiempo a esta parte más se ha extendido y con mayor ímpetu y velocidad a entrado en la vida cotidiana de las personas. Esta tecnología permite realizar conexiones entre diferentes clases de dispositivos de una manera inalámbrica. Actualmente esta tecnología está presente prácticamente en la totalidad de los dispositivos electrónicos que hay en el mercado.

La *Wi-Fi* se basa en el protocolo 802.11. Este protocolo marca las normas de cómo realizar y cómo usar las redes inalámbricas creadas. La transmisión por esta red se lleva a cabo por medio de radiofrecuencia, se propaga por el aire con un gran alcance. Para establecer una red *Wi-Fi* es necesario que los dispositivos se conecten a otros dispositivos que son los que suministran el acceso, estos son denominados *Acces Point* (Punto de acceso AP).

Existen varios formatos de conexión, pero el que tiene mayor popularidad es el 802.11b, que está operando a 2.4 GHz, misma frecuencia que las microondas de la telefonía móvil.

Como la comunicación se lleva a cabo por radiofrecuencia, se realiza de la siguiente manera. Un adaptador *Wireless* ubicado en un dispositivo traduce la información que quiere enviar a una señal de radio y la transmite usando una antena. Un *router Wireless* recibe la señal, la decodifica y envía la información obtenida a Internet usando una conexión por cable,



normalmente *Ethernet*. El proceso es igual a la inversa, si el dispositivo recibe información del *router Wireless*, este la habrá traducido a señal de radio y el dispositivo la decodificara para poder trabajar con ella.

La ventaja principal de esta tecnología es que la red es inalámbrica, puede unir a un sinfín de dispositivos con características muy diferentes. Da cobertura a un gran número de usuarios. Tiene una fácil instalación tanto física como informática. Permite la conexión simultánea de varios dispositivos.

Las principales desventajas son que muchas veces la calidad de la conexión atiende a múltiples factores y la mayoría se escapan al alcance de los usuarios, ocasionando conexiones lentas o fallidas. La cercanía entre dos o más puntos de acceso puede afectar a la calidad de la comunicación. La seguridad de esta red ha sido muchas veces puesta en entredicho, ya que es vulnerable a los ataques de usuarios ajenos.

Actualmente esta tecnología es muy popular, el crecimiento amenaza la disponibilidad del espectro radioeléctrico causándose interferencias, aumentando este riesgo cuanto más lejana es la conexión.

2.1.4 NFC

La tecnología *NFC* o *Near Field Communication*, se puede traducir como comunicación de campo cercano. Se trata de una tecnología inalámbrica de alta frecuencia de corto alcance. Su funcionamiento se basa en la creación de un campo electromagnético, mediante inducción, a través del cual se realizara un intercambio de información entre dos dispositivos. El rango de alcance se reduce a unos 10/15 cm. Utilizando las bases del sistema de identificación por radiofrecuencia *RFID*, los aparatos comenzaran a transferir datos entre ellos.

Los dispositivos equipados con tecnología *NFC* pueden funcionar de dos maneras:

-*NFC* de modo activo: Los dos dispositivos que van a intercambiar información tienen una fuente de energía, con lo que ambos dispositivos pueden generar su propio campo electromagnético. En este caso se puede intercambiar en cada momento la información deseada.

-*NFC* en modo pasivo: Uno de los dos dispositivos que van a interactuar no tiene fuente de energía propia, con lo que no puede generar campos electromagnéticos y necesita que otro lo genere por él.

En cuanto a la seguridad, como en toda comunicación por radiofrecuencia es posible que alguien realice una lectura de esa



comunicación. Pero como esta se realiza a muy corta distancia la posibilidad es muy pequeña. Pero lo que no se puede descartar es la copia de los códigos del chip.

La principal ventaja de esta tecnología es la inmediatez, ya que el tiempo de conexión entre dos dispositivos suele estar en torno a 0,1 segundos y se hace automáticamente. Permite recibir y enviar diferentes datos a la vez

El corto alcance es su desventaja principal, ya que la distancia máxima a la que se puede realizar la conexión entre dos dispositivos es de unos 15 cm con lo que prácticamente estos tienen que estar pegados. Únicamente se puede realizar una conexión de punto a punto, no es posible realizarla entre más de dos dispositivos.

2.1.5 ZigBee

ZigBee es la especificación de un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica. Se utiliza la radiodifusión digital de datos para conseguir un ahorro energético, además para lograr esto se centra la comunicación con una baja tasa de datos. Se basa en el estándar *IEEE 802.15.4*.

El *ZigBee* tiene un consume de 30mA transmitiendo y de 3 μ A en reposo. Los dispositivos la mayor parte del tiempo se encuentran en reposo y como la tasa de transmisión de datos es muy baja es poco el tiempo que pasa en modo transmisión que es cuando más consume. Tiene una velocidad de hasta 250 Kbit/s.

Dependiendo la funcionalidad en una red *ZigBee* se definen 3 tipos distintos de dispositivos:

-Coordinador *ZigBee*: Es el tipo más completo. Es el encargado de controlar la red y los caminos de conexión que deben seguir el resto de dispositivos. Debe haber uno por red como mínimo.

-Router *ZigBee*: Conecta entre si dispositivos en la topología de la red. Ofrece un nivel de aplicación para que se pueda ejecutar el código de usuario.

-Dispositivo final: Tiene la funcionalidad suficiente como para realizar una comunicación con su nodo padre, coordinador o *router*, pero no es capaz de mandar información a otros dispositivos. Este tipo de dispositivo esta la mayor parte del tiempo durmiendo, haciendo que el consume de energía sea muy bajo. Además tiene un requerimiento de memoria muy bajo.



Estos 3 tipos se pueden reducir a 2. Nodos activos son los dispositivos capaces de actuar como coordinador o *router*. Nodos pasivos que son los que están la mayor parte del tiempo dormidos esperando que alguien les envíe información.

ZigBee permite tres tipologías de red. Red de tipo estrella, en la cual el coordinador está en el centro. Red de tipo árbol, en la que el coordinador es la raíz del árbol. Red tipo malla, en la que al menos un nodo de la red tendrá más de dos conexiones.

Debido a su bajo consumo y que transmite unos pocos bytes esporádicamente es ideal para aplicaciones de domótica. Otra área en la que ha entrado con fuerza esta tecnología es en los sistemas de medición avanzada, como puede ser medidores de agua, de luz o de gas.

Se especifican cuatro servicios de seguridad. Control de acceso, el dispositivo tiene una lista de los dispositivos que hay en la red. Todos los datos que se transmiten en las comunicaciones usan encriptación con un código de 128 bits. Se protegen los datos de ser modificados por terceros. Secuencias de refresco, se comprueban que las tramas no hayan sido remplazadas por otras.

Las principales ventajas de la tecnología *ZigBee* son, el bajo ciclo de trabajo lo que le proporciona una larga duración de batería. Soporta varios tipos de topologías de red. Tiene fácil implementación y los dispositivos son relativamente baratos.

Las desventajas más importantes son su baja tasa de transferencia de datos. Tiene menor cobertura ya que pertenece a redes inalámbricas del tipo *WPAN*.

2.1.6 Comparativa de tecnologías

	Wi-Fi (802.11n)	ZigBee	BLE	NFC
Frecuencia de trabajo	2.4 GHz-5GHz	2.4GHZ,915MHz,868 MHz	2.4 GHZ	13.56 MHz
Rango de alcance	≈ 300 m	≈100m	≈100m	15cm
Velocidad de transferencia de datos	600Mbps	250Kbps	1Mbps	424 Kbps
Implementación industrial	Si	No	Si	No
Consumo de corriente de pico	60mA RX, 200mA TX	19mA RX, 35mA TX	<15mA	-
Consumo de corriente en espera	< 100uA	3uA	< 2uA	-
Duración de batería	Varias Horas	Años	Meses	Años

Tabla 3 - Comparativa tecnología de comunicación inalámbrica.

La tabla anterior muestra las principales características de las diferentes tecnologías inalámbricas que se han estudiado.

Se puede observar que la principal ventaja de *ZigBee*, *NFC* y *BLE* es su bajo consumo de energía. *ZigBee* tiene una velocidad de transferencias de datos de 250Kbps, quedándose un poco baja. *NFC* tiene un rango de actuación de 15 cm aproximadamente, lo que hace que para el propósito de este estudio no sea posible su utilización.

La *Wi-Fi* tiene unas prestaciones bastante superiores a todas las demás exceptuando el consumo de energía. Se observa que la batería de un *Wi-Fi* debería ser remplazada o recargada en pocas horas o el consumo de la red sería demasiado elevado.

El *BLE* tiene como principal ventaja la combinación de un aceptable rango de actuación, una velocidad de transmisión de datos suficiente para nuestro propósito y un bajo consumo.

Resumiendo, se ha elegido esta tecnología por las siguientes razones:

- Bajo consumo de energía, larga duración de la batería.
- Rango de actuación de hasta 100m.
- Facilidad de instalación.
- Velocidad de transmisión de datos suficiente.



2.2 Sistemas operativos

El conjunto de programas de bajo nivel que abastece de servicios a las aplicaciones móviles y que permite la abstracción de las peculiaridades del *hardware* del dispositivo móvil es conocido como sistema operativo móvil o SO móvil.

Los SO móviles son mucho más sencillos que los que se encuentran en un PC ya que están orientados a la conectividad inalámbrica y las diferentes formas de lograr una comunicación con otros sistemas. En la actualidad hay dos grandes sistemas operativos que se llevan el 99% de cuota de mercado *iOS* y *Android*, con un 14,5% y un 84,5% respectivamente.

El SO móvil está dividido en cuatro capas:

- *Kernel*: Proporciona acceso a las diferentes partes del *hardware* o el acceso y gestión a memoria.

- *Middleware*: Es invisible para el usuario y ofrece servicios como el motor de mensajería, interprete de páginas web o seguridad.

- Entorno de ejecución de aplicaciones: Es el gestor de aplicaciones y tiene una serie de interfaces programables abiertas de las cuales se sirven los desarrolladores de aplicaciones.

- Interfaz de usuario: Facilita la utilización del dispositivo móvil por parte del usuario. Tiene componentes gráficos y a través de él el usuario interacciona con las aplicaciones.

2.2.1 iOS

Es el SO móvil de la compañía *Apple*. Apareció por primera vez en un *Smartphone* en enero de 2007. Este SO es la versión móvil del SO que *Apple* utilizaba en sus ordenadores *Mac OSX*. Además funciona en otros dispositivos como *Apple TV* o *iPod*.

Sus principales características son que es un sistema muy estable, intuitivo y tiene una gran facilidad de manejo. Su estética es uno de sus puntos fuertes. Fue el primer SO móvil que disponía de una tienda a gran escala de aplicaciones, *AppStore*.

Uno de sus grandes inconvenientes es su exclusividad. No es compatible con terminales que no sean de la marca *Apple*.

Las aplicaciones para este SO se programan en *xCode* a través de un *SDK* de *Apple*.



En la actualidad su última versión estable es la *iOS* 11.2.5 lanzada el 23 de enero de 2018.

2.2.2 Android

Es el SO móvil de la compañía *Google*. Este SO está basado en el núcleo de *Linux*. Fue presentado en 2007, aunque no fue hasta 2008 cuando un dispositivo móvil salió al mercado con este SO.

Su principal ventaja sobre *iOS* es que es un SO abierto. Esto permite que cualquier fabricante pueda modificarlo para adaptarlo a sus productos. De esta manera las actualizaciones dependen de los fabricantes y no de *google*.

Visualmente no es tan atractivo como el de *iOS* pero es bastante parecido.

Aun que posee una tienda de aplicaciones este SO también da la opción de instalar directamente en el dispositivo móvil las aplicaciones. Otra gran ventaja que posee es su facilidad de conexiones con PCs. No necesita un programa específico para realizar una sincronización, sino que solo necesita una conexión USB.

En cuanto al desarrollo de aplicaciones existen multitud de herramientas *offline* y *online* para llevar a cabo estos desarrollos. Dispone de una máquina virtual, *Dalvik*. Existe la web *App inventor* creada por el MIT donde se puede desarrollar aplicaciones de una manera muy intuitiva sin necesidad de tener grandes nociones de programación. Dispone de su página web oficial donde se puede descargar gratuitamente el programa *Android Studio* así como multitud de documentación, tutoriales y ejemplos. Se basa en el lenguaje java para realizar sus desarrollos.

La última versión estable que han sacado es la 8.1.0 “*Oreo*” que fue lanzada el 5 de febrero de 2018.



3. IOT

El *internet de las cosas* es un concepto que hace referencia a la interconexión de los objetos cotidianos con internet. Desde la aparición de internet ha ido creciendo y facilitándose el intercambio de información. Esto ha hecho que crezca cada vez más la demanda de productos que son capaces de enviar, recibir y procesar información, los conocidos como dispositivos inteligentes. De esta manera el intercambio de información entre objetos es conocido como el internet de las cosas. Se podría decir que es la digitalización del mundo físico.

Sanjay Sarma, vicepresidente de *Opening Learning* en el *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* dijo durante su ponencia en el evento de emprendimiento *South Summit 2017*

“Amazon ya no va de libros. No poseen libros, poseen la experiencia de leer. El negocio no está en los productos sino en experiencias que resuelven problemas”

El *internet de las cosas* versa sobre este concepto. No se trata de conseguir un dispositivo en concreto o un objeto en concreto, sino que estos objetos nos aporten experiencias. Un ejemplo sería un lavavajillas que una vez se acaben las pastillas de jabón el mismo compre las pastillas. El lavavajillas aporta la experiencia de no tener que preocuparte de cuando se acaban las pastillas e ir a comprarlas.

La conexión se puede realizar por medio de diferentes protocolos, ya que debe existir un intercambio de información pero no hay un protocolo definido estándar para realizar la conexión. Más adelante se entrará en detalle de cuáles pueden ser algunos de estos protocolos.

Partes que integrarían una aplicación de *IOT*:

El dispositivo físico, que dependiendo de la funcionalidad deseada, puede ser desde un sensor a una baliza de posicionamiento. Este dispositivo será el encargado de generar una información y enviarla. Si se habla de un sensor, este mandará una medida como una temperatura o una presión. O simplemente puede estar programada para enviar siempre una información. Además si pudiera realizar alguna acción dependiendo de la información sería un actuador. En estos momentos priman los dispositivos pequeños y de bajo consumo por encima de un alto nivel de procesamiento.

Una vez que se tiene el paquete de información, ya sea predefinido u obtenido mediante un sensor, se debe enviar para que sea procesado Figura [6]. En este punto hay dos vertientes para realizar esta comunicación, una

gran parte de la industria ha optado por unos protocolos ya conocidos y “tradicionales” como puede ser las conexiones de red local vía Ethernet. Pero están apareciendo nuevos protocolos como puede ser el *BLE* o el *NFC*.



Figura 6 - Traza de un mensaje en una comunicación inalámbrica

Fuente: www.beebe.com

Para que la información llegue correctamente de un dispositivo a otro hay que tener en cuenta que deben respetarse los protocolos de ambos dispositivos. Codificación del mensaje, el formato y la encapsulación, tamaño del mensaje, temporización del mensaje, diferentes opciones de entrega y decodificación final.

Codificación de los mensajes:

La codificación es el proceso por el cual la información que se va a enviar se transforma de tal manera que sea aceptable para esa comunicación. La decodificación es la inversión de este proceso para interpretar la información.

El *host* emisor, convierte el mensaje a enviar por la red en *bits*. Cada uno de estos *bits* se codificara siguiendo un patrón de sonidos, ondas de luz o impulsos electrónicos, dependiendo el medio de transmisión del mensaje. El *host* de destino será el encargado de revertir este proceso para poder interpretar el mensaje.

Formato y encapsulación del mensaje:

Los formatos con los que se caracterizan los mensajes vendrán determinados por el tipo de mensaje y por el canal que se vaya a emplear para entregar el mensaje.

Se encapsula el mensaje en una trama antes de emitirlo, se proporciona la dirección de origen y la de destino

Los mensajes que se intentan enviar con un formato incorrecto no se podrán mandar al *host* de destino o si se podrán enviar pero este no podrá procesarlos.

Tamaño del mensaje:



Las tramas tienen que tener un tamaño comprendido entre 64 y 1518 bytes para que se pueda comprender. Si fuera necesario el emisor dividirá el mensaje en fragmentos más pequeños para que estos cumplan las restricciones de tamaño. Esto se conoce como segmentación. Cada parte del mensaje se encapsula en una trama con la dirección y se manda a través de la red. Los mensajes van llegando al destino y será ahí donde se desencapsule y se recomponga de nuevo ordenadamente para después procesar e interpretar el mensaje recibido.

Temporización del mensaje:

Los *host* de origen y de destino utilizan el control de flujo para lograr una temporización buena. El emisor tiene la capacidad de enviar mensajes a una velocidad más grande de la que el receptor puede recibirlo, por esta razón utilizan el control de flujo. Si dos *host* emiten a la vez se puede producir una colisión, para ello utilizan el método de acceso. Necesitan saber en qué momento enviar los diferentes mensajes.

El tiempo de espera de respuesta, es el tiempo estipulado que deben esperar una respuesta de otro *host*, y si pasa ese tiempo y no han recibido la respuesta deberán actuar consecuentemente.

Opciones de entrega del mensaje:

Unicast: El emisor envía un mensaje a un único destinatario directamente.

Multicast: El *host* emisor envía el mensaje a varios receptores a la vez.

Broadcast: Se envía el mensaje a todos los dispositivos de la red.



4. Balizas o Beacons

Una *beacon* o baliza Figura [7] es un dispositivo que utiliza la tecnología *BLE* para establecer una comunicación con un dispositivo móvil principalmente. No necesita la sincronización que si necesitaba los anteriores *Bluetooth*. El dispositivo móvil toma la información y realiza los procesos adecuados con ella dependiendo la aplicación implementada en el dispositivo.

Los *beacons* transmiten una única señal repetidas veces por segundo, dependiendo el periodo con el que estén programadas, esto es conocido como el intervalo publicitario. Cada fabricante utiliza su intervalo pero estos se encuentran entre 100 y 750 milisegundos. Esta señal puede ser recibida por dispositivos móviles de su alrededor. Se podría hacer un símil con los faros y los barcos, los cuales envían una señal luminosa que es recibida por todos los barcos que están dentro del rango de alcance del faro.

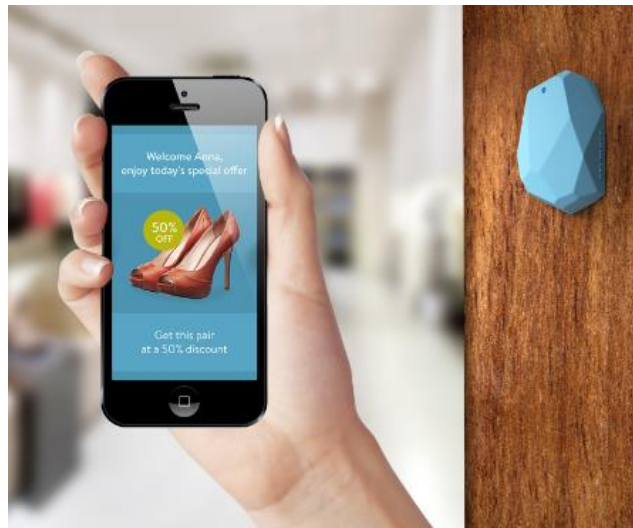


Figura 7- Baliza de marca Estimote

Fuente: www.ibeacon.com

El tamaño de estos dispositivos es otra de sus grandes ventajas, ya que no suelen sobrepasar los 5x5 cm de tamaño dependiendo fabricantes. Su tamaño facilita la instalación prácticamente en cualquier lugar.

4.1 Consumo de energía

Los beacons se valen de la tecnología *BLE* para realizar las comunicaciones con los dispositivos cercanos. Se trata de la variante *Bluetooth* de baja energía.

Actualmente existen diferentes *beacons* en el mercado. La mayoría utiliza pilas de botón, llegando la duración en algunos casos hasta los 2 años. Existen también *beacons* alimentados mediante USB.

4.1.1 Consumo dispositivos móviles

Dos estudios realizados por la página web www.aislelabs.com en los que se comparan una serie de *beacons* de diferente marca y se observa cual es el consumo en los dispositivos móviles y el consumo de batería de las propias balizas. Todos los datos que se verán a continuación están extraídos de este estudio.

En las siguientes tablas se muestra como varia el consumo de batería en tanto por ciento dependiendo el número de *beacons* que se encuentren en el rango del dispositivo móvil. A mayor tanto por ciento mayor es el consumo de la batería.

Android

	Baseline	0 beacons	7 beacons	10 beacons
Nexus 4	-1.05%	-2.14%	-2.63%	N/A
Nexus 5	-0.57%	-1.43%	-2.23%	-5.18%
Moto G	-0.76%	-1.20%	-1.44%	-1.79%


Source: aislelabs.com 

Tabla 4 - Consumo de batería cantidad de *beacons*/modelo móvil Android.

Para realizar este experimento se ha utilizado una tasa de escaneo del 50% por segundo, el dispositivo móvil está un segundo escaneando y otro sin escanear. El consumo de línea base se da cuando no se encuentra ninguna baliza dentro del rango de alcance.

Se tienen tres modelos diferentes de móviles con sistema operativo *Android*. Se observa que cuanto mayor es el número de balizas en el rango de alcance del dispositivo móvil el tanto por ciento de consume de batería por hora aumenta. El tiempo de escaneo del *Bluetooth* es el mismo, pero la cantidad de información recibida y procesada es diferente. Los dispositivos móviles más modernos tienen un consumo de energía menor que los modelos más antiguos.

iOS

iPhone	baseline	0 beacon	1 beacon	7 beacon	10 beacon
iPhone 4S	3.50%	7.00%	9.25%	13.75%	14.50%
iPhone 5C	2.50%	5.00%	6.50%	7.25%	7.50%
iPhone 5S	2.25%	4.75%	5.75%	6.50%	7.00%


Source: aislelabs.com 

Tabla 5 - Consumo de batería cantidad de beacons/modelo móvil iOS.

En este experimento se ha utilizado una tasa de escaneo de 50% por segundo.

Se tienen tres dispositivos móviles con un sistema operativo *iOS*. Se puede observar que en este caso también aumenta el tanto por ciento de consumo de batería por hora si aumentamos el número de balizas dentro del rango de alcance. Como en el caso de los dispositivos *Android* los modelos más modernos tienen un gasto de energía menor.

Si se realiza la comparación de dispositivos móviles *Android* con *iOS* se obtiene la siguiente tabla que relaciona el tanto por ciento de consumo de batería por hora con el número de *beacons* en el rango de alcance.

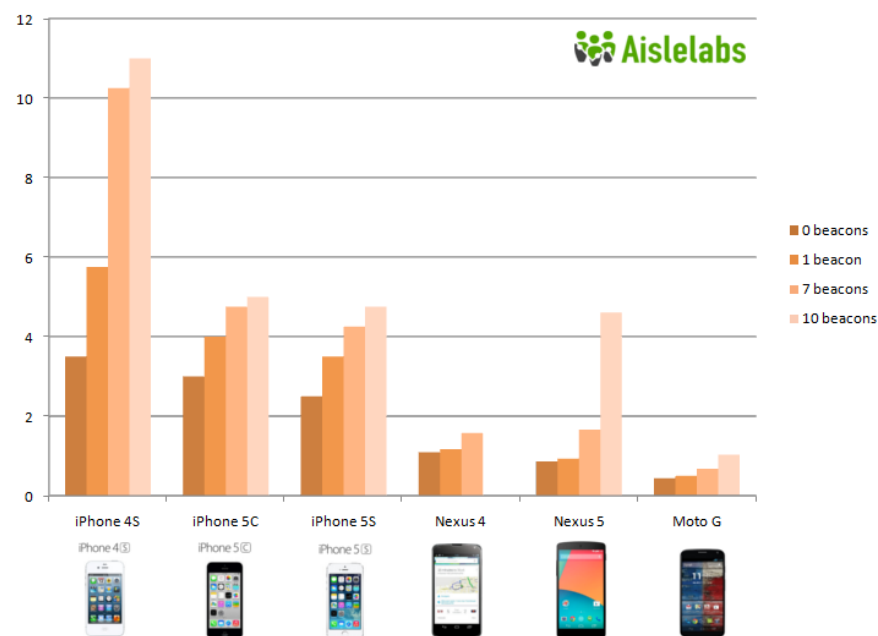


Figura 8 - Gasto de batería de distintos modelos de móviles dependiendo la cantidad de balizas publicando.

Fuente: www.aislelabs.com

Se observa que los dispositivos móviles *Android* tienen un consumo menor que los *iOS* Figura [8]. Esto es debido a que los primeros solo procesan en torno a un 30% de los anuncios emitidos por las balizas. Las balizas se anuncian varias veces por segundo. Los móviles *Android* solo procesan en torno al 30% de estos anuncios mientras que los dispositivos *iOS* procesan un porcentaje mucho mayor, de ahí la diferencia de consumo.

Estas pruebas se han realizado manteniendo unas condiciones mucho más exigentes que las que se pueden dar o se deberían dar en una situación de uso real. Una aplicación móvil bien diseñada y bien implementada no debería superar el 1% de consumo por hora de batería.

4.1.2 Consumo de energía Beacons o balizas

Para medir la vida de las baterías de las *beacons* se ha realizado el siguiente estudio. Durante nueve meses se ha ido midiendo el nivel de batería de diferentes marcas de *beacons*. Estas han tenido una configuración en la que realizan los anuncios con un intervalo de 645ms y con un alcance 15 metros (-12 dBm de potencia tx). Se han elegido 26 marcas diferentes que utilizan entre todas 4 chips diferentes. Esto significa el 95% de cuota de mercado.

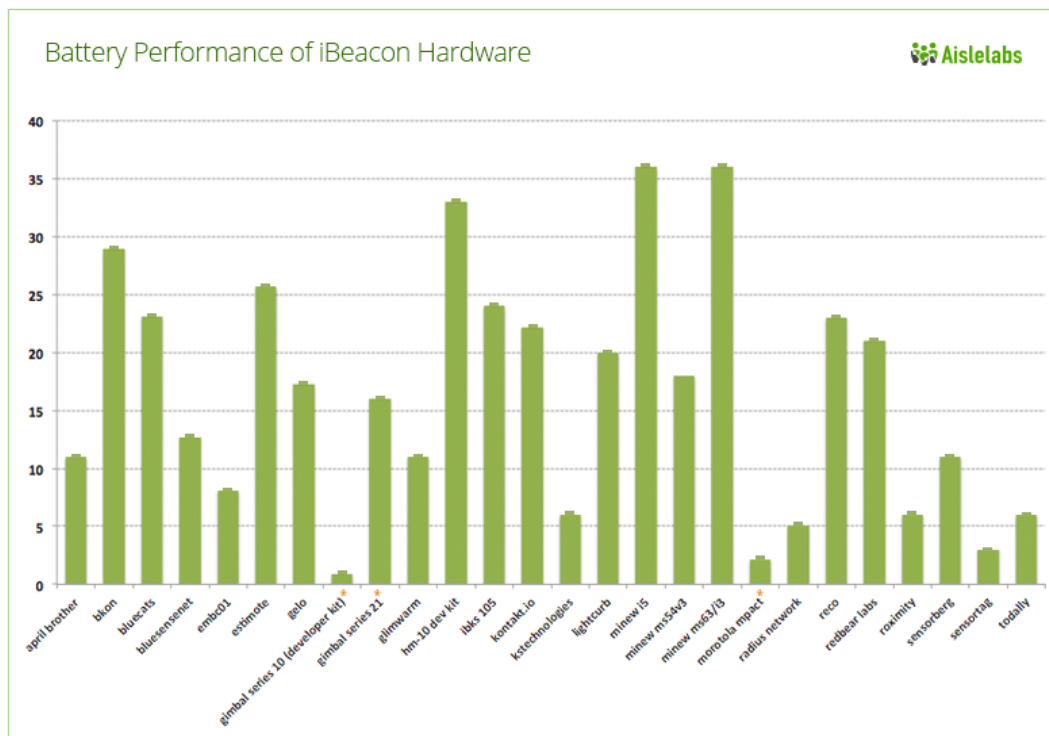


Figura 9 - Tiempo de vida de diferentes balizas.

Fuente: www.aislelabs.com

La Figura [9] muestra el tiempo de vida en meses de cada una de las diferentes marcas de balizas estudiadas. Obtenemos una media de 16 meses de duración. Se observa que hay grandes diferencias entre algunas marcas.

4.2 Hardware

Una baliza físicamente está compuesta por un microcontrolador, un chip de radio *BLE* y una batería. En estos momentos la gran mayoría de fabricantes está utilizando *SoC* (*system on chip*), donde en un mismo chip se encuentra el microcontrolador, la radio *BLE* y la memoria.

En cuanto a los *SoC* se va a analizar los principales fabricantes que acaparan la mayor parte de cuota de mercado ($\approx 95\%$).

Texas Instruments tiene el *CC2540* y el *CC2541* que es una versión mejorada del anterior. Los dos trabajan con un procesador 8051, que les permite prescindir de un microcontrolador externo para funcionar, reduciendo su coste. Pero quedan obligados a utilizar este procesador con sus pros y sus contras.

Algunas de sus principales especificaciones son:

- Compatible con *Bluetooth*: v4.0 *BLE*.
- Sistema completo en solución de chip que incluye *BLE* integrado, microcontrolador y periféricos (*SoC*).
- Capacidad de la memoria: 256kB o 128kB *flash* y 8kB *RAM*.
- Paquete QFN de 6x6 mm.
- Potencia de salida máxima de 0dBm.
- (-94dBm) Sensibilidad.
- Análogo: ADC de 12 bits, comparador, sensor de temperatura y monitor de batería
- Rango de temperaturas de operación: -40°C to 85°C.
- 3.29 \$ / unidad

Nordic tiene dos modelos principales que son el *nRF8001* y el *nRF51822* este segundo el más utilizado de los dos.

El *nRF8001* necesita de un microcontrolador externo, tiene una interfaz muy común y fácil de conectar con la gran mayoría de microcontroladores. La ventaja de esto es la libertad que da elegir el



microcontrolador más adecuado para cada uso, aunque esto incrementa el coste final. No puede trabajar con el protocolo *iBeacon*.

Nordic tiene la familia *nRF51* en la que se encuentra el *nRF51822* el más utilizado de esta marca, uno de los más utilizados en general. Es un SoC potente y altamente flexible. Tiene una CPU ARM Cortex de 32 bits. Los desarrolladores tienen a su alcance herramientas gratuitas para trabajar con él.

Algunas de sus principales especificaciones son:

- Compatible con *Bluetooth*: v4.0 BLE.
- Capacidad de la memoria: flash de 256 kb / 128 kB más una memoria RAM de 32kb/16kB.
- Paquete QFN de 6x6 mm y WLCSP de 3,5mm x 3,8mm.
- Tiene un transceptor de 2,4GHz con BLE.
- Tiene un rango de suministro de 2,1V a 3,6V.
- Tiene 3 velocidades de transmisión de datos 2Mbps / 1Mbps / 250kpbs.
- El transceptor BLE tiene una potencia de salida de + 4dBm de potencia de salida.
- Rango de temperatura de funcionamiento: -40 ° C a + 105 ° C.
- Consumo de energía: modo activado 2.6µA @ 3V, todos los bloques en modo inactivo 1.2µA @ 3V modo OFF + 1 región de retención de RAM.
- 2.31 \$ / Unidad

Es un dispositivo multiprotocolo, y ya un producto maduro con muchos problemas resueltos.

Dialog es el fabricante más novel de todos los que se han estudiado. Ha eliminado la memoria flash para reducir costes. Para paliar la falta de memoria flash se puede conectar a una memoria externa mediante SPI o I2C. Utiliza una CPU ARM Cortex-M0 a 16MHz con 32 Kb de memoria programable una única vez.

Algunas de sus principales especificaciones son:

- Compatible con *Bluetooth*: v4.1 BLE.



-Disponible en 6x6mm QFN. 5x5mm QFN y paquetes de 2.5 × 2.5mm WLCSP.

-Voltaje de suministro: 0.9V-3.6V.

- 2.31 \$ / Unidad.

Es el que menor consumo de energía tiene de todos los analizados.

Cypress tiene dos modelos *PSoC BLE* y el *PRoC BLE*, estos dispositivos integran un transceptor *BLE*, una PCU ARM *Cortex-M0* de 48MHz y bloques analógicos y digitales programables exclusivos. Al igual que *nordic* los desarrolladores tienen a su alcance herramientas gratuitas para trabajar con él.

Algunas de sus principales especificaciones son:

-Compatible con *Bluetooth: v4.1 BLE*.

- -92dBm RX Sensibilidad, + 3dBm TX Potencia de salida

- Capacidad de memoria: 128kB / 256kB Flash y 16kB / 32kB SRAM

-Arquitectura única de *PSoC* con bloques programables digitales y analógicos

-Disponible en 7x7mm 56-, 3.9 × 3.5mm 68-bola WLCSP, y 4.1 × 3.9mm 76-bola WLCSP

-Voltaje de suministro: 1.9V-5.5V



Resumiendo:

	Protocolo	Procesador integrado	Flash	RAM	Consumo de corriente BLE (RX / TX)
TI CC2540 / CC2541	BLE v4.0	8051	128kB / 256kB	8kB	17.9mA / 18.2mA a 14.7mA / 14.3mA
Nordi nRF51822	BLE v4.1	Cortex-M0	128kB / 256kB	16kB / 32kB	9.7mA / 8mA
Nordic nRF8001	BLE v4.0	-	-	-	14.6mA / 12.7mA
Dialog DA14580	BLE v4.1	Cortex-M0	32kB OTP	42kB + 8kB	4.9mA / 4.9mA
Cypress PSoC 4 BLE / PSoC BLE	BLE v4.1	Cortex-M0	128kB / 256kB	16kB / 32kB	15.6mA / 16.4mA

Tabla 6 - Comparativa SoC.

En cuanto a las baterías, las pilas de botón son las más extendidas entre los fabricantes Figura [10]. Son baterías densas de iones de litio y van desde los 240 mAh hasta los 1000mAh. Algunas balizas funcionan con pilas alcalinas AA que llegan a entregar 2000 mAh. Existen balizas que utilizan una fuente de alimentación externa como una conexión usb o directamente a la red. Estas son las menos extendidas ya que quedan limitadas a las tomas de red instaladas en el entorno de acción de las balizas.



Figura 10 - Tipos de fuente de energía.

Fuente: www.aislelabs.com

4.3 Firmware

El *firmware* o soporte lógico inalterable es la lógica de más bajo nivel interna la cual se encarga de controlar los circuitos electrónicos del dispositivo.

El *firmware* controla algunos aspectos que afectan directamente a la duración de la batería.

-Potencia de transmisión (Potencia tx): Es la potencia con la que emite la señal la baliza. Esta señal viaja por el aire, cuanto más distancia recorre esta potencia va disminuyendo. Aumentando la potencia tx se aumenta el alcance de la señal, pero el consumo de batería será mayor y viceversa.

-Intervalo publicitario: La frecuencia de emisión de señal de una baliza es el intervalo publicitario. Un intervalo de 100 ms significa que enviara su señal 10 veces en un segundo, una vez cada 100 ms. Aumentando este intervalo disminuye el gasto de batería ya que se realizaran menos anuncios por segundo. Dependiendo el uso de la baliza se buscara un ahorro energético o un mayor número de anuncios por segundo.

Estos parámetros dependiendo el fabricante se pueden configurar mediante una aplicación móvil o mediante cualquier cliente GATT.

4.4 Arquitectura

Como se ha indicado anteriormente el *BLE* tiene dos maneras de comunicarse, mediante el modo conectado mediante el GATT y el modo *advertising* mediante el acceso genérico GAP.

Principales protocolos que utilizan las *beacons*:

4.4.1 iBeacon

Es un protocolo creado por la compañía tecnológica *Apple*, fue la primera empresa que dio a conocer la tecnología *BLE*. Este protocolo solo puede ser detectado por sistemas operativos *iOS*.

iBeacon ofrece dos métodos de *API* para la detección de balizas, *Ranging* y *Monitoring*. El primero solo funciona si la aplicación está ejecutándose mientras que el segundo funciona también aunque la aplicación no este corriendo.

Cuando una baliza realiza un anuncio mediante el protocolo *iBeacon* manda periódicamente una trama de datos que tiene la siguiente estructura:

Campo	Tamaño	Descripción
Cabecera	9 bytes	Estos primeros 9 bytes indican que se trata de una conexión broadcast y además envía otro tipo de información no modificable como la cantidad e bytes de los que consta cada anuncio o de la dirección MAC de la baliza
UUID	16 bytes	El UUID es un identificador único y universal. Consta de 16 bytes, 32 dígitos hexadecimales (8-4-4-4-12). En este caso identifica a todas las balizas de un mismo grupo.
Mayor	2 bytes	Los 2 bytes mayor identifican un subgrupo más pequeño dentro del grupo de balizas de un mismo UUID
Minor	2 bytes	Es un nivel más de subdivisión más pequeño que el mayor. Normalmente identifica una baliza dentro de un subgrupo mayor.
Tx Power	1 byte	Indica la potencia de transmisión teórica, medida a un metro de distancia de la baliza. Se mide en dBm.

Tabla 7 - Trama de datos protocolo *iBeacon*.

4.4.2 Eddystone

El protocolo de comunicación *Eddystone* es un proyecto de código abierto de *google*. *Eddystone* se puede comunicar con sistemas operativo *Android* e *iOS*.

Está diseñado para soportar paquetes de datos diferentes, partiendo de un paquete de datos base. Ofrece solo un método de *API* para la detección



de balizas, *Ranging*. La aplicación debe estar ejecutándose para poder funcionar.

Cada baliza lanza una trama de datos periódicamente que estará compuesta por:

La lista de los 16 bytes de servicios de *UUID*. La lista de 16 bytes debe contener el servicio *UUID 0xFEAA* para poder realizar escaneo de dispositivos *iOS*.

Esta cabecera es fija independientemente de los valores que tome el identificador único universal (*UUID*). El tipo de trama se especifica en la parte alta de los cuatro primeros bits del primer byte de *Service Data* asociado con el servicio *UUID*.

Existen 4 tipos diferentes de paquetes dependiendo del valor de estos primeros 4 bits.

Eddystone-UID transmite una trama con una identificación *beacon* única. Tiene un tamaño de 16 bytes que está compuesta por un espacio de nombres que ocupa los 10 primeros bytes y los últimos 6 bytes ocupados por una instancia. Se podría decir que es similar a la utilización que se hace en el protocolo *iBeacon* del *major* y el *minor*. Con el espacio de nombres se engloba un grupo de balizas y cada una de ellas se diferenciara en la instancia.

La longitud de la trama son 31 bytes, donde además del espacio de nombres y la instancia tendremos la *UUID* indicada antes y la potencia de transmisión.

Eddystone-URL transmite dentro de su trama una *URL* usando un formato comprimido ya que los paquetes publicitarios de las balizas son de tamaño limitado. Será la aplicación o el dispositivo móvil el encargado de interpretar esta *URL* comprimida.

La codificación es una secuencia de caracteres. Además hay unos códigos reservados para la codificación de expansión de texto. En el momento que un dispositivo recibe la trama *Eddystone-URL*, los códigos de bytes que codifican la *URL* se van sustituyendo, por ejemplo la siguiente tabla indica los diferentes códigos que corresponden con diferentes expansiones de texto de la *URL*.



Decimal	Hex	Expansion
0	0x00	.com/
1	0x01	.org/
2	0x02	.edu/
3	0x03	.net/
4	0x04	.info/
5	0x05	.biz/
6	0x06	.gov/
7	0x07	.com
8	0x08	.org
9	0x09	.edu
10	0x0a	.net
11	0x0b	.info
12	0x0c	.biz
13	0x0d	.gov
14..32	0x0e..0x20	Reserved for Future Use
127..255	0x7f..0xFF	Reserved for Future Use

Tabla 8 - Código de bytes de extensión Url.

Eddystone-TLM las balizas que utilizan este protocolo *eddystone* pueden comunicar datos acerca de su estado de “salud”. Estas balizas emiten los siguientes datos sobre si mismas:

- Nivel de batería.
- Temperatura de la baliza.
- Número de anuncios realizados desde el ultimo encendido o reinicio.
- Tiempo desde el ultimo encendido o reinicio.

Con estos datos se puede realizar un monitoreo bastante aceptable de la baliza. Es de gran ayuda para realizar estudio sobre prestaciones de las balizas o para llevar a cabo el mantenimiento de las mismas.

Eddystone-EID con este protocolo se emite un identificador temporal encriptado e ira cambiando periódicamente. Este periodo será impuesto durante el registro inicial con un servicio web. Mediante este servicio web podemos saber en todo momento cual va a ser el identificador en cada momento. De esta suerte todo aquel que no conozca este servicio web



apreciara un cambio de identificador aleatorio. Este protocolo persigue una mayor seguridad y privacidad.





5. Aplicaciones actuales

Los múltiples beneficios que reporta la utilización del *BLE*, los cuales ya se han comentado, así como los que aportan las balizas han hecho que estas se hayan extendido en muchos ámbitos de la vida. Parece ser que es una tecnología que ha llegado para quedarse. Se analizarán cuáles son algunas de las aplicaciones que hoy existen y se están utilizando.

La liga americana de Béisbol (*MLB*) desde principios de 2014 hizo uno de los primeros grandes despliegues de balizas. Equipó la gran parte de sus estadios con balizas y creó la aplicación *At The Ballpark*. Esta aplicación permitía a los usuarios del estadio identificarse automáticamente en la entrada, encontrar el recorrido hasta su asiento o incluso conocer las ofertas que tienen los puestos de comida cercanos. Más adelante se introdujeron cambios en los que se ofrecía a los usuarios contenido interactivo.

Algunas empresas han utilizado las *Beacons* para realizar un control de acceso automático. La aplicación registra la hora de entrada y de salida del puesto de trabajo. Esto permite ganar en fluidez y reducir gastos. Cada empleado tiene en su dispositivo móvil la aplicación instalada, la cual detecta una baliza colocada en la entrada de la oficina u factoría. Cada vez que entra o sale detecta la baliza y así se realiza el cómputo global del usuario en el puesto de trabajo.

En Estados Unidos el ministerio de salud y servicios sociales utilizó esta tecnología para luchar contra la obesidad. Indicaba a los usuarios cuál era el camino desde el lugar de ubicación del usuario hasta su destino, el camino que les marcaba era el más largo posible. Para obtener la ubicación de los empleados en el interior utilizaba balizas que eran detectadas por el dispositivo móvil. Dependiendo de qué baliza detecte la aplicación se obtiene la ubicación del usuario.

También existen aplicaciones que monitorizan el tiempo que pasas dentro de tu automóvil. Incluso han aparecido aplicaciones que calculan el tiempo a pagar dentro de estacionamientos de pago. Estas aplicaciones siguen el mismo esquema que las que contabilizan el tiempo trabajado.

Behere es una aplicación pensada para optimizar el tiempo de los profesores. Con esta aplicación instalada en los dispositivos de los alumnos y en el del profesor, la cual actuara como baliza. Detecta automáticamente que alumnos han acudido a clase sin necesidad de pasar lista, incluso se pueden realizar peticiones de tutoría a través de ella.

En la escuela de Bristol se está utilizando una aplicación creada por el director y un alumno. Esta muestra contenido educativo dependiendo en que



punto de la escuela te encuentres. Dependiendo la baliza que detecte el dispositivo muestra un tipo de información u otro.

La cadena hotelera norteamericana *Hilton* está lanzando una aplicación para abrir las puertas de las habitaciones de sus hoteles mediante balizas. La puerta se abrirá al detectar que el dispositivo móvil del usuario está cerca.

Muchas compañías aéreas están utilizando las *beacons* para guiar a los pasajeros hasta puntos clave como puede ser el despacho de aduanas, el *chek-in* o el embarque. Se ubica al pasajero mediante balizas dentro del aeropuerto y se le muestra la ruta hasta los puntos de interés mencionados antes.

La casa de *Rubens* en Amberes creó una aplicación que ofrece una visita guiada interactiva por todo el museo mediante tecnología *beacon*. La aplicación permite la geo-localización interior del usuario.

Wayfindr es una aplicación que ha sido instalada en el metro de Londres. Se han instalado en algunas estaciones una serie de balizas para mediante la aplicación *Wayfindr* guiar a las personas ciegas a través del metro. Está en periodo de pruebas pero la idea es extenderlo por todo el metro de Londres.

Se han colocado una serie de balizas desde la boca de metro, pasando por todos los pasillos hasta los mismos andenes donde efectúan las paradas los trenes Figura [11]. La aplicación va recibiendo señales de las distintas balizas y en función de que balizas sea la que se comunica lanza mediante voz unas indicaciones al usuario. No es una geo-localización pura, ya que en ningún momento se sabe la posición del usuario. Simplemente se sabe de una manera aproximada por qué zona de la estación se encuentra.

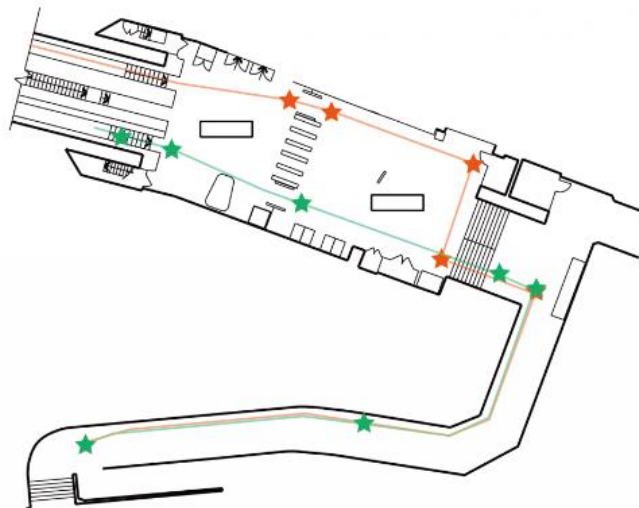


Figura 11 - Posición de las balizas en el metro de Londres para la aplicación Wayfindr.

Fuente: www.wayfindr.net

En la Figura [11] se observa un plano de una parte de una estación de metro, donde las estrellas representan balizas. El guiado es secuencial, según se van alcanzando balizas se va indicando cuales son los movimientos a seguir. Son itinerarios marcados previamente e invariables.

Donak Figura [12] es una aplicación que ayuda a la orientación de personas con discapacidad visual. Se vale de las *beacons* para recopilar información de los objetos y lugares que hay alrededor del usuario y poder orientarlo. Ofrece nombres de calles, cruces de carreteras, comercios cercanos etc.



Figura 12 - Pantallazo de la aplicación DONAK

Fuente: www.elconfidencial.com

Situm se trata de una aplicación que también persigue la geo-localización del usuario en lugares cerrados. En este caso se vale de la señales *wi-fi*, las señales enviadas por las *beacons* y además utiliza el campo magnético de cada edificio Figura [13]. Han elaborado un algoritmo que mediante estas tres señales captadas por los distintos sensores del dispositivo móvil geo-localizan al usuario dentro del edificio con una precisión de 1 metro.

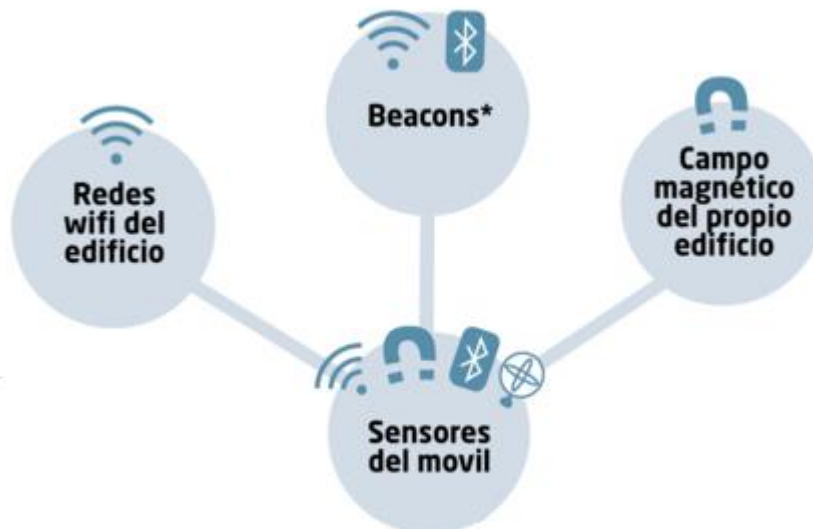


Figura 13 - Datos de los que se vale la aplicación *Situm* para geo-localizar a los usuarios.

Fuente: www.elmundo.es

Indoors es una aplicación basada en la geo-localización mediante *BLE* y *beacons*. Tiene una serie de mapas que se pueden cargar sin necesidad de conexión a internet. El usuario marca cuál es su punto de partida y su punto de destino y la aplicación le marca la ruta desde el punto A al punto B. Su principal ventaja es que es una solución unificada, puede funcionar en dispositivos con un sistema operativo *iOS* o *Android*.

Con estas aplicaciones se puede constatar la utilidad de esta nueva tecnología y que poco a poco cada vez se va extendiendo más. Aunque no es una tecnología muy conocida por la población en general parece ser que cada vez va a estar más presente en la vida cotidiana. Actualmente hay en torno a 8 millones de balizas instaladas en el mundo, pero se tienen previsiones de alcanzar los 400 millones en el año 2020.

6. Aplicación posible (Alejandría)

Una vez se ha estudiado las características de las tecnologías que actualmente hay a nuestro alcance y observando cuál de ellas es la que mejor conviene para nuestra aplicación. Habiendo observado cuales son las aplicaciones que en estos momentos se apoyan en esta tecnología para realizar un guiado de personas en interiores. Se estudiara una implementación de una posible aplicación móvil que realice el guiado de personas con discapacidad total o parcial en lugares cerrados.

Alejandría es el nombre elegido para la aplicación. El nombre se debe a que las balizas serán las encargadas de guiar a las personas al igual que lo hacen los faros con los marineros. El faro más famoso de la historia es el faro de Alejandría, una de las siete maravillas del mundo antiguo.

Alejandría es una aplicación que nace con la finalidad de mejorar la orientación de personas con una discapacidad visual parcial o total en espacios cerrados, así como la localización de objetos en estos espacios.

La idea de crear esta aplicación surge de la suma de dos necesidades observadas.

En estos momentos, la tecnología de geolocalización mundial está muy extendida y generalizada. Es una tecnología muy desarrollada y en la actualidad está dotada de unas prestaciones extraordinarias. Pero cuando se intenta utilizar esta tecnología en espacios cerrados es cuando resaltan sus carencias. Como se indicó la tecnología *GPS* se vale de una serie de satélites que mediante trilateración ubican a los usuarios en el mundo. Dentro de un edificio la comunicación se hace más difícil incluso en ocasiones imposible.

Actualmente existe la necesidad de crear una aplicación de orientación en espacios cerrado. El *BLE* nos aporta la tecnología necesaria para llevar a cabo un *GPS* interior. Esta tecnología como ya hemos dicho nos aporta las ventajas del *Bluetooth* antiguo, una conexión más rápida y además con muy poco consumo.

Si se pensara por un momento las dificultades que se puede encontrar un individuo que padece de ceguera total o parcial para orientarse en un lugar desconocido. Por ello se cree que esta aplicación va a servir de gran ayuda a todas esas personas que padecen discapacidad visual. Esta aplicación será capaz de guiar por el interior de edificios para encontrar un lugar o un objeto dentro a partir de un punto de partida mediante unas indicaciones sonoras.

Esta aplicación cubriría estas dos necesidades que hemos observado mediante la utilización de balizas y la tecnología *BLE*.



6.1 Aplicación

La aplicación guiará a personas con discapacidad total o parcial en espacios cerrados. En este caso esta aplicación está pensada para guiar a las personas dentro de los edificios de la Universidad de Valladolid. Para este proyecto solo se desarrollará la parte teórica de la aplicación, y una implementación teórica en la planta baja de la Escuela de Ingeniería Industriales de la Universidad de Valladolid en la sede Francisco Mendizábal.

La aplicación funcionará de la siguiente manera. El usuario tendrá la aplicación instalada en su dispositivo móvil ejecutándose. Se dirigirá a cualquiera de los edificios de la UVA, ya sean escuelas, facultades, bibliotecas o edificios administrativos. Una vez que el dispositivo móvil se encuentra cerca de la puerta de entrada principal de algún edificio la aplicación se lo notificará mediante un mensaje de voz.

El usuario indicará si el edificio que se ha detectado es al que deseaba llegar o no.

La comunicación se va a realizar con tecnología *BLE*. Se instalarán unas balizas en el edificio que estarán emitiendo anuncios en modo *Advertising Data payload*. El dispositivo móvil que tendrá la aplicación instalada y ejecutándose será el encargado de recoger estos mensajes y actuará en consecuencia.

A partir de este punto se han desarrollado dos posibles soluciones a la hora de realizar el guiado en el interior del edificio las cuales se explicarán con detalle más adelante.

6.2 Tecnologías empleadas.

Para la realización de la aplicación se van a necesitar dos actores principales, un dispositivo móvil y una baliza.

6.2.1 Dispositivo móvil

El dispositivo móvil deberá estar equipado con alguno de los siguientes sistemas operativos: *iOS 7.0* o *android 4.3* de los que ya se habló anteriormente. Es necesario tener estos sistemas operativos o versiones superiores ya que la comunicación entre la baliza y el dispositivo móvil se va a realizar mediante *BLE*, y las versiones anteriores no soportan este protocolo. Como se ha visto los dispositivos *Android* consumen menos energía cuando trabajan buscando balizas, pero este aspecto es una elección del usuario.



La simulación de la aplicación va a ser desarrollada para *Android*, pero podría ser desarrollada también para *iOS* siguiendo la misma lógica.

6.2.2 Baliza o Beacon

Se realiza un estudio de mercado entre la mayoría y más importantes fabricantes de balizas del mundo para encontrar la que mejor se adapte a la aplicación con un precio adecuado.

El hardware de una baliza está formado básicamente por 4 partes: Microcontrolador, chip de radio BLE, batería y carcasa. Microcontrolador y radio BLE embebidos en un mismo chip, SoC.

Ya se ha realizado el estudio por separado de todas las partes que componen una baliza, ahora el análisis se centra en las características que ofrece cada fabricante. Las diferencias que hay entre cada uno y cuál es el más adecuado para la aplicación. El análisis se realiza entre fabricantes de balizas que utilizan principalmente la tecnología *BLE* para realizar sus comunicaciones.

Proveedores de balizas:

Accent systems es una empresa española con sede en España y New York. Tiene varios modelos de balizas.

IBKS PLUS:

-Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.

-Botón de encendido y apagado.

-Tamaño: 84 x 84 x 24 mm.

-SoC: *Nordic nRF51822*.

-memoria: 256KB flash y 16kB RAM

-Módulo *BLE*:

-2,4 GHz

-Velocidad de transmisión de datos: 250 kbps, 1 Mbps, 2 Mbps.

-Potencia de emisión: -20dBm a + 4dBm en saltos de 4dBm.

-Sensibilidad -93dBm

-1dB resolución de *RSSI*.

-Rango de alcance: >100m. La tabla 9 muestra cual es el alcance máximo para diferentes TX Power para el modelo IBKS PLUS.

Distance (m)	TX Power (dBm)							
	-30	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4
0	-52	-40	-38	-36	-34	-29	-26	-22
1	-90	-80	-78	-75	-73	-67	-59	-53
3	-95	-86	-81	-80	-79	-73	-67	-65
5	-99	-88	-86	-83	-81	-76	-73	-68
10	-102	-95	-88	-86	-84	-78	-75	-71
15		-97	-92	-91	-90	-88	-82	-78
20		-98	-94	-92	-91	-89	-85	-82
30		-99	-96	-93	-92	-91	-87	-84
40		-100	-98	-94	-94	-93	-89	-86
50		-102	-100	-97	-96	-95	-93	-90
60			-101	-98	-98	-97	-96	-91
70			-102	-101	-100	-99	-98	-92
80				-102	-101	-100	-98	-94
90					-102	-101	-99	-96
100						-102	-101	-100

Tabla 9 - Distancia alcanzada por Potencia de emisión en la baliza IBKS PLUS.

-Batería: pila AA x 4. Duración promedio 15-20 meses dependiendo de la potencia de emisión y el intervalo de emisión.

-Sensores opcionales: Corriente, acelerómetro y temperatura.

-Consumo: 3,5 a 3,8 μ A.

-Luz LED indicativa del estado.

-Temperatura de operación: -40°C a 85°C.

- 22,50€/Unidad

-Resistente al agua.

-Acabado: Blanco mate, plástico (ABS) Figura [14].



Figura 14 - Aspecto de la baliza IBKS PLUS.

Fuente: www.accent-systems.com

IBKS USB

-Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.

-Comunicación USB.

-Tamaño: 38 x 18.9 x 5.1 mm. Peso: 3g.

-SoC: *Nordic nRF51822*.

-memoria: 256KB flash y 16kB RAM

-Módulo *BLE*:

-2,4 GHz

-Velocidad de transmisión de datos: 250 kbps, 1 Mbps, 2 Mbps.

-Potencia de emisión: -20dBm a + 4dBm en saltos de 4dBm.

-Sensibilidad -93dBm

-1dB resolución de *RSSI*.

-Rango de alcance: >100m. La tabla 9 muestra cual es el alcance máximo para diferentes *TX Power* para el modelo IBKS USB.

Distance (m)	TX Power (dBm)							
	-30	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4
0	-57	-46	-44	-41	-37	-33	-29	-19
1	-99	-86	-81	-75	-74	-70	-65	-62
3	-102	-92	-88	-80	-77	-76	-72	-70
5		-94	-90	-86	-81	-78	-76	-73
10		-102	-96	-88	-86	-84	-79	-79
15			-97	-95	-90	-86	-81	-80
20			-99	-98	-93	-88	-82	-81
30			-100	-99	-94	-91	-84	-82
40			-101	-100	-95	-93	-85	-84
50			-102	-101	-96	-95	-91	-86
60				-102	-98	-97	-92	-87
70					-101	-98	-94	-90
80					-102	-99	-96	-96
90						-101	-97	-96
100							-102	-101

Tabla 10 - Distancia alcanzada por Potencia de emisión en la baliza IBKS USB.

- Batería: USB 5V. Infinita.
- Sensores opcionales: Temperatura.
- Temperatura de operación: -25°C a 75°C.
- 13,00€/Unidad
- Acabado: Blanco mate, plástico (ABS) Figura [15].



Figura 15 - Aspecto de la baliza IBKS USB.

Fuente: www.accent-systems.com

Estimote es una empresa creada en Polonia muy extendida a nivel mundial. Es fácilmente reconocible por el vistoso diseño de sus balizas. Está orientada a la integración de la tecnología *BLE* y las balizas en los negocios de sus clientes. No son un simple fabricante de balizas, son desarrolladores.

PROXIMITY BEACONS

- Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.

- CPU: ARM Cortex-M4 32-bit
- Memoria: 512kB flash y 64 kB RAM
- Tamaño: 55 x 38 x 18 mm. Peso: 30g.
- Módulo BLE:
 - 2,4GHz
 - Velocidad de transmisión: 1Mbps a 2Mbps.
 - Potencia de emisión: -20dBm a + 4dBm en saltos de 4dBm.
 - Sensibilidad -93dBm
 - Rango de alcance: \approx 70m.
- Batería de tipo botón CR2477-3V.
- Sensores opcionales: Acelerómetro y de temperatura.
- Temperatura de operación: 0 °C a 60 °C.
- Humedad 10%-90%
- 16,74€/Unidad
- No inflamable.
- Acabado en silicona Figura [16].

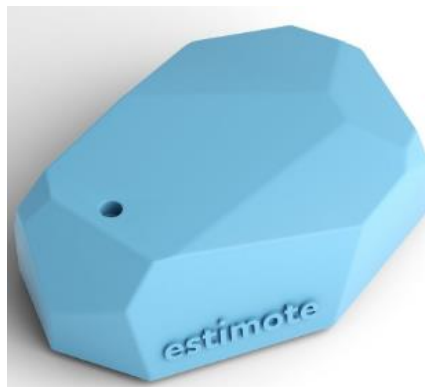


Figura 16 - Aspecto de la baliza proximity beacons de la marca estimote.

Fuente: www.estimote.com

STICKERS

- Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.

- CPU: ARM Cortex-M0 32-bit
- Memoria: 256kB flash y 16 kB RAM
- Tamaño: Variable.
- Módulo BLE:
 - 2,4GHz
 - Velocidad de transmisión: 1Mbps a 2Mbps.
 - Potencia de emisión -20dBm a + 4dBm en saltos de 4dBm.
 - Sensibilidad -93dBm
 - Rango de alcance: \approx 15m.
- Batería de tipo botón CR2020-3V.
- Sensores opcionales: Acelerómetro y de temperatura.
- Temperatura de operación: 0°C a 60°C.
- Humedad 10%-90%
- 8,37€/Unidad
- No inflamable.
- Acabado en Poliuretano Figura [17].



Figura 17 - Aspecto de la baliza stickers de la marca estimote.

Fuente: www.estimote.com

kontakt.io es una empresa que no llega a los 5 años de vida. Es una de las grandes empresas a nivel mundial en cuanto a lo conocido como soluciones de proximidad.

TOUGH BEACON

-Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.

-Tamaño: 52 x 37 x 27 mm. Peso: 23g.

-SoC: *Nordic nRF51822*.

-memoria: 256KB flash y 16kB RAM

-Módulo *BLE*:

-2,4 GHz

-Velocidad de transmisión de datos: 250 kbps, 1 Mbps, 2 Mbps.

-Potencia de emisión: -30dBm a + 4dBm.

-Sensibilidad -93dBm

-Rango del alcance \approx 50m.

-Batería tipo botón CR2477 1000mAh.

-Temperatura de operación: -20°C a +60°C.

-Humedad 0%-100%

-22,61€/unidad

-Sumergible a 10 metros de profundidad, resistente a ambientes con polvo en suspensión y a los rayos ultra-violeta

-Acabado en policarbonato Figura [18]



Figura 18 - Aspecto de la baliza TOUGH BEACON de la marca kontakt.io.

Fuente: www.kontakt.io.com

CARD BEACON Figura [19]

- Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.
- Tamaño: 85,8 x 54 x 2 mm.
- Botón apagado/encendido.
- SoC: *Dialog DA14580*.
 - memoria: 32KB flash y 8kB RAM
- Módulo *BLE*:
 - 2,4 GHz
 - Potencia de emisión: -20dBm a 0dBm.
 - Sensibilidad -93dBm
 - Rango del alcance \approx 50m.
- Batería de litio de 320 mAh con una duración de 8 meses a 1 año.
- Temperatura de operación: -20°C a +60°C.
- Humedad 0%-95%
- 26,79€/unidad



Figura 19 - Aspecto de la baliza CARD BEACON de la marca kontakt.io.

Fuente: www.kontakt.io.com

Aruba es una empresa que basa su negocio en el desarrollo de aplicaciones orientadas al *IoT*. Su oferta de balizas es menor que las marcas analizadas hasta el momento.

ARUBA BEACON Figura [20]

- Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.
- Tamaño: 47 x 47 x 16 mm. Peso 37,5 g.
- Botón encendido/apagado.
- Memoria: 32KB flash y 8kB RAM
- Módulo *BLE*:
 - 2,4 GHz
 - Potencia de emisión: -20dBm a 0dBm.
 - Sensibilidad -94dBm
 - Rango del alcance \approx 60m.
- Pila de botón x 2 de 1000 mAh cada pila. Una duración de hasta 4 meses.
- Temperatura de operación: 0 °C a +50 °C.
- Humedad 5%-95%
- 41,86€/unidad



Figura 20 - Aspecto de la baliza ARUBA BEACON.

Fuente: www.arubanetworks.com

Balizas sin memoria. Las siguientes balizas no cuentan con memoria.

ReYeBu modelo *NRF51822 Bluetooth 4.0 Wireless Module* Figura [21].

-Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.

-Tamaño: 28 x 28 x 10 mm. Peso 11 g.

-Botón encendido/apagado.

-Módulo *BLE*:

-2,4 GHz

-Potencia de emisión: -30dBm a 0dBm.

-Rango del alcance \approx 20m.

-Pila de botón x 1 de 1000 mAh pila. Una duración de hasta 1,5 años.

-Temperatura de operación: 0 °C a +50 °C.

-Humedad 5%-95%

-4,40€/unidad



Figura 21 – Aspecto de la baliza ReYeBu

Fuente: www.reyebu.com

MRMRACKET Figura [22]

-Compatible con protocolo *iBeacon* y *eddystone*.

-Tamaño: 24.8 x 24.8 x 7.5 mm. Peso 8 g.

-Módulo *BLE*:

-2,4 GHz

-Potencia de emisión: -23dBm a 0dBm.

-Rango del alcance \approx 30m.

- Pila de botón tipo CR2032. Una duración de hasta 1,5 años.
- Temperatura de operación: -5 °C a +65 °C.
- Humedad 5%-95%
- 5,13€/unidad



Figura 22 – Aspecto de la baliza MRMRAKET

Fuente: www.es.aliexpress.com

En la tabla 11 se pueden ver todos los datos extraídos de cada fabricante y diferentes modelos para discutir mejor cual es el idóneo para la aplicación.

	IBKS PLUS		IBKS USB		Proximity beacon		Sticker		Tough Beacon		Card Beacon		Aruba Beacon		RetYeBu		MRMRACKET	
Compañía	Accent System	Accent System	Si	Si	Estimote	Estimote	Si	Si	Kontakt.io	Kontakt.io	Si	Si	Si	Aruba	RetYeBu	RetYeBu	MRMRACKET	MRMRACKET
Compatible con beacon y edystone	Si	Si			Si	Si	Variable	52 x 37 x 27 mm. Peso: 23g.	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tamaño	84 x 84 x 24 mm	38 x 18,9 x 5,1 mm. Peso: 3g			55 x 36 x 18 mm. Peso: 30g									47 x 47 x 16 mm. Peso 37,5 g	28 x 28 x 10 mm. Peso 11 g.		24,8 x 24,8 x 7,5 mm. Peso 8 g	
Botón ON/OFF	Si	No			No				No		Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	
SoC	Nordic nRF51822	Nordic nRF51823			ARM Cortex-M4 32-bit	ARM Cortex-M0 32-bit			Nordic nRF51822	Dialog DA14580					Nordic nRF51822		TICC2451	
Memoria	256KB flash y 16KB RAM	256KB flash y 16KB RAM			512KB flash y 64 KB RAM	256KB flash y 16 KB RAM			256KB flash y 16 KB RAM	32KB flash y 8KB RAM				32KB flash y 8KB RAM				
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz			2.4 GHz	2.4 GHz			2.4 GHz	2.4 GHz				2.4 GHz				2.4 GHz
Velocidad Transmisión datos	250 kbps, 1Mbps, 2 Mbps	251 kbps, 1Mbps, 2 Mbps			1Mbps a 2Mbps	1Mbps a 2Mbps			250 kbps, 1Mbps, 2 Mbps									
Potencia emisión	-20dBm a +4dBm	-20dBm a +4dBm			-20dBm a +4dBm	-20dBm a +4dBm			-30dBm a +4dBm	-20dBm a +0dBm				-20dBm a +0dBm				-23dBm a +0dBm
Sensibilidad	-93dBm	-93dBm			-93dBm	-93dBm			-93dBm	-94dBm								
Resolución	1dB de RSSI	1dB de RSSI																
Alcance	100m	100m			70m	15m			50m	60m					20m			30m
Sensores	Corriente, acelerómetro y temperatura	Temperatura			Acelerómetro y temperatura	Acelerómetro y temperatura												
Tipo de batería	pila AA x 4 5000mAh Duración: 15-20 meses	USB Duración: infinita			Tipo botón CR2477-3V Duración: 10-24 meses	Tipo botón CR2020-3V Duración: 6-12 meses			Tipo botón CR2477-3V Duración: 6-24 meses	Batería de litio 320mAh Duración: 8 meses				Pila de botón x2 1000mAh x2 Duración: 4 meses	Tipo botón CR2032-3V Duración: 9-15 meses			Tipo botón CR2032-3V Duración: 9-12 meses
Rangos Ambientales de	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C			0°C a 60°C Humedad 10%-90%	0°C a 60°C Humedad 10%-90%			-20°C a 60°C Humedad 10%-90%	-20°C a 60°C Humedad 0%-95%				0°C a 50°C Humedad 5%-95%	0°C a 50°C Humedad 5%-95%			-5°C a 65°C Humedad 5%-95%
Precio	22,50 / Unidad	13,00 / Unidad			16,25 / Unidad	8,37 / Unidad			22,61 / Unidad	41,86 / Unidad				4,40 / Unidad				5,13 / Unidad
Acabado	Blanco mate, plástico (ABS).	Blanco mate, plástico (ABS).			silicona	Poliuretano			poli carbonato									
Resistencia	Resistente al agua	-			No inflamable	No inflamable			Sumergible, polvo rayos UV									

Tabla 11 - Comparativa de características de balizas.



Se puede observar que actualmente todas las balizas analizadas, y casi todas las balizas del mercado son compatibles con los protocolos de *iOS* y *Android* (*iBeacon* y *Eddystone*) los más extendidos.

Los tamaños oscilan entre los 84 x 84 x 24 mm de la *IBKS PLUS* de *Accent System*, los 38 x 18.9 x 5.1 mm del *IBKS USB* del mismo fabricante o los 24.8 x 24.8 x 7.5 mm de *MRMRACKET*. En este aspecto hay que hacer mención especial a los *sticker* de *Estimote* ya que aunque su tamaño es variable, porque no todos son iguales por diseño, son más pequeños que el *IBKS USB*. En los rangos de peso que nos estamos moviendo entre estos modelos es algo que no va a influir en la decisión final.

El botón de encendido y apagado puede ser un accesorio útil en muchas aplicaciones, pero no en el caso que se está estudiando. Se van a instalar un número grande de balizas, por lo que apagar y encender cada día las balizas sería un gasto de tiempo inútil. Precisamente la tecnología *BLE* hace que las balizas aparentemente pasen la mayor parte del tiempo “apagadas”.

No se necesitaran unos requisitos de memoria muy grandes, incluso no será necesaria.

Todas las balizas analizadas pueden trabajar a una velocidad de transmisión de datos de hasta 2Mbps.

En la potencia de emisión tenemos unos rangos muy parecidos, así como en la sensibilidad.

En cuanto al alcance de la señales se debe tener en cuenta que estos dependen de la potencia de emisión. Si se trabaja con una potencia de emisión alta se logra un alcance mayor. Esto conlleva un consumo de energía mayor, por lo que la duración de la batería será menor. Los rangos que se muestran en la tabla 11, corresponden con el alcance máximo de cada baliza. Para lograr este alcance se trabajaría a una potencia de emisión máxima y un consumo de energía mayor.

La baliza con menor rango son los *stickers* de *estimote*, alcanzan 15 metros. Es cierto que cualquier carencia de alcance se puede suplir con un mayor número de balizas, pero esto encarecería el producto final. Pero alcanzar el rango máximo de cada baliza conlleva un consumo de energía mayor. Se buscan balizas que no necesiten trabajar con potencias de emisión altas.



La posibilidad de adición de sensores es un apartado muy interesante. Dota de una gran potencia a esta tecnología, pero que para la finalidad de este trabajo no aplica.

El grueso de balizas utiliza como fuente de energía pilas, la mayoría de botón. En este apartado la excepción es del modelo *IBKS PLUS* que lleva cuatro pilas tipo AA y el modelo *Card Beacon* que utiliza una batería de litio. El modelo *IBKS USB* utiliza como fuente de energía una conexión USB, por lo que para la aplicación móvil no sería la mejor opción. Quedaría muy limitada a las tomas de corriente con las que cuente cada edificio, además que estarían demasiado expuestas a posible hurtos. No se contempla la posibilidad de realizar salidas de corriente a la altura y lugar que se precise, ya que el coste del producto se dispararía.

La duración de la batería es uno de los aspectos más importantes, de ello dependerá mucho el mantenimiento del sistema y la autonomía de este. La duración depende de la potencia de emisión y de la frecuencia de emisión. De tal forma que si aumenta la potencia de emisión y aumenta la frecuencia, el gasto de energía aumentara.

Las diferentes marcas proporcionan unos rangos de duración bastante amplios ya que debido a las diferentes potencias y frecuencias de emisión varía mucho el consumo de energía. Para realizar la elección se supone el peor de los casos, un consumo máximo de energía, se analiza el límite inferior de estos rangos.

Los modelos *Card Beacon*, *Aruba Beacon*, *Tough Beacon* y *stickers* tienen una duración baja. *Aruba* es el menor de todas las balizas estudiadas con 4 meses, se tendría que realizar cambio de pilas 3 veces al año. Utiliza dos pilas de botón, es un sistema poco optimizado en comparación al resto. *Card Beacon* tiene la ventaja de trabajar con una batería de litio, que simplemente necesitaría ser recargada. Esto hace que el coste sea menor. Esta batería tiene una duración de 8 meses, que con el paso del tiempo iría reduciéndose.

Las balizas más óptimas en este aspecto son los modelos *IBKS PLUS*, *Proximity beacon* que tienen una duración de 15 y 10 meses respectivamente.

Se ha tomado el peor de los casos, pero como no se va trabajar con potencias y frecuencias de emisión máximas estas duraciones serán mayores que las supuestas. Se buscan duraciones aproximadas superiores al año de vida.

Los rangos ambientales de operación no son una preocupación ya que van a estar en sitios cerrados donde no se alcanzan condiciones extremas.

El coste por baliza es un punto crítico. Se busca una relación aceptable entre precio y prestaciones. Por eso *Tough Beacon*, *Card Beacon* y *Aruba Beacon* quedan descartadas, son las más caras y las que peores prestaciones presentan. *Aruba* es la más cara y la que peor prestaciones presenta. *Accent System* y *Estimote* presentan las balizas con una mejor relación precio/prestaciones. Las más económicas son *MRMRAKET*, *ReYeBu*. Estas últimas se podrían catalogar de una gama inferior al resto, aunque sus características pueden ser válidas para el uso que en este trabajo se les quiere dar.

En el acabado casi todas optan por una caja estilizada de plástico blanco. *Estimote* se desmarca en este aspecto con un diseño muy innovador y vistoso. *MRMRAKET*, *ReYeBu* son los únicos modelos que no llevan encapsulado.

Después de realizar el estudio pormenorizado de cada una y en vistas de las características expuestas por cada fabricante concluimos:

IBKS USB queda descartada por su fuente de energía. En general tiene unas características válidas para la aplicación y por un precio aceptable, pero la manera en la que obtiene la energía hace que tenga que ser descartada. La imposibilidad de poder colocar arbitrariamente las balizas en cada edificio y quedar sujetos a las ubicaciones de las tomas de corriente la deja fuera.

Aruba Beacon tiene un precio tan elevado que simplemente por esto queda descartada. El precio en comparación con las demás es tan alto que aunque tuviera las mejores características (no siendo el caso) quedaría descartada.

Card Beacon tiene un precio demasiado alto para las prestaciones que ofrece. Con una duración aproximada de 8 meses. Queda descartada por las razones anteriores.

Tough Beacon queda lastrada por su alcance. Nos ofrece una duración de 6 meses trabajando con una potencia de emisión máxima. Si reducimos esta potencia de emisión lograríamos alargar la vida de la fuente de energía, pero reduciendo la potencia de emisión estaríamos acortando el alcance de esta. Con un alcance de 50 metros estaríamos corriendo el riesgo de reducir demasiado el alcance para conseguir el tiempo de vida de otras balizas. El modelo *IBKS PLUS* tiene un precio similar y unas prestaciones mejores. Por estas razones queda descartada.



Sticker presenta una característica que la hace resaltar sobre el resto, su volumen y su precio. No lo son, pero se las puede considerar prácticamente como pegatinas. Su mayor desventaja es su corto alcance combinado con su baja duración. Si queremos lograr sus 15 metros de alcance máximo, necesitamos utilizar su potencia máxima de emisión lo que haría que su duración fueses cercana a los 6 meses. Es una baliza que podría llegar a ser la elegida para esta aplicación.

Proximity beacon destaca sobre el resto de balizas porque su memoria es la de mayor capacidad, 512kB flash y 64 kB RAM. Tiene una duración con una potencia y frecuencia de emisión máxima de 10 meses, que como se ha visto anteriormente sería mayor. El alcance de 70 metros permitiría reducir el consumo de energía sin que el alcance se quede corto. La relación del precio y la características es buena, 16,25 €/unidad. Esta baliza cumple con las exigencias de la aplicación a un precio adecuado.

IBKS PLUS es la gama más alta de *Accent Systems*. Es la baliza con una duración más larga, 15 meses si se trabaja a máxima potencia y frecuencia de emisión. Es la única que trabaja con pilas tipo AA. El precio de 22,50€/unidad y las prestaciones que presenta da una relación precio/prestaciones buena. Tiene el alcance más largo de hasta 100m. Por estas razones es una baliza que cumple con las características requeridas por la aplicación.

MRMRACKET y **ReYeBu** son un caso diferente a los anteriores modelos. Son dos balizas de una gama inferior a todas las anteriores. No tienen memoria, no tienen carcasa y sus prestaciones no son las mejores. Pero son las de menor precio. Tienen una duración de batería de 9 meses y un alcance de 30 metros.

6.3 Posible solución 1

Una vez el dispositivo móvil ha localizado el edificio deseado por el usuario, este deberá colocarse en la baliza llamada punto de partida. Esta baliza estará colocada en la puerta principal de cada edificio. En este momento el móvil mediante un mensaje de voz interactuara con el usuario pidiéndole el destino deseado dentro de una lista de opciones de ese edificio. El móvil calculara la ruta y comenzara a guiar al usuario por el interior del edificio al igual que lo hace un GPS.



La aplicación se valdrá de los datos que vayan comunicando cada una de las balizas colocadas en el edificio para saber la ubicación del usuario y dar las indicaciones en consecuencia.

Habría una baliza destino que será detectada por el dispositivo móvil haciendo saber por mensaje de voz al usuario que ya ha llegado al lugar deseado.

Para salir del edificio se seguirán las mismas pautas con la diferencia de que entre las opciones de destino no estará la ubicación del usuario pero se habrá añadido la salida.

El usuario tendrá la posibilidad de cortar en cualquier momento el guiado.

6.3.1 Requisitos funcionales

Estos son los requisitos funcionales de la aplicación. Antes se van a enumerar los requisitos no funcionales los cuales que son necesarios para que la aplicación funcione correctamente.

Requisitos no funcionales

-1: El dispositivo tiene que tener activado el *Bluetooth*, para poder realizar los escaneos de balizas.

-2: El dispositivo debe tener una versión de *Android* igual o superior a las 4.3 o una versión de *iOS* igual o superior a la 7.0 para ser compatible con el *BLE*.

-3: La aplicación tiene que estar ejecutándose en primer o segundo plano, si está detenida no funcionara.

Requisitos funcionales

-1: Al activar la aplicación dará la bienvenida y solo mostrara una imagen por pantalla.

-2: La aplicación comenzara a realizar escaneos periódicos en busca de balizas activas.

-3: Cuando se encuentre una baliza conocida indicara mediante voz al usuario donde se encuentra. El usuario podrá indicar que ese no es el edificio al que quiere llegar.

-4: Una vez el usuario este colocado al inicio del recorrido preguntara a este a dónde quiere ir.

-5: El dispositivo mediante la voz comenzara a dar indicaciones para guiar al usuario hasta su destino. El usuario podrá cancelar el guiado en cualquier momento.

6.3.2 Casos de uso

La aplicación, Alejandría, se relacionara con el usuario exclusivamente mediante la voz.

Con el siguiente diagrama de casos Figura [23] de uso se muestra de una forma gráfica como se relaciona el usuario con la aplicación y con las diferentes funcionalidades.

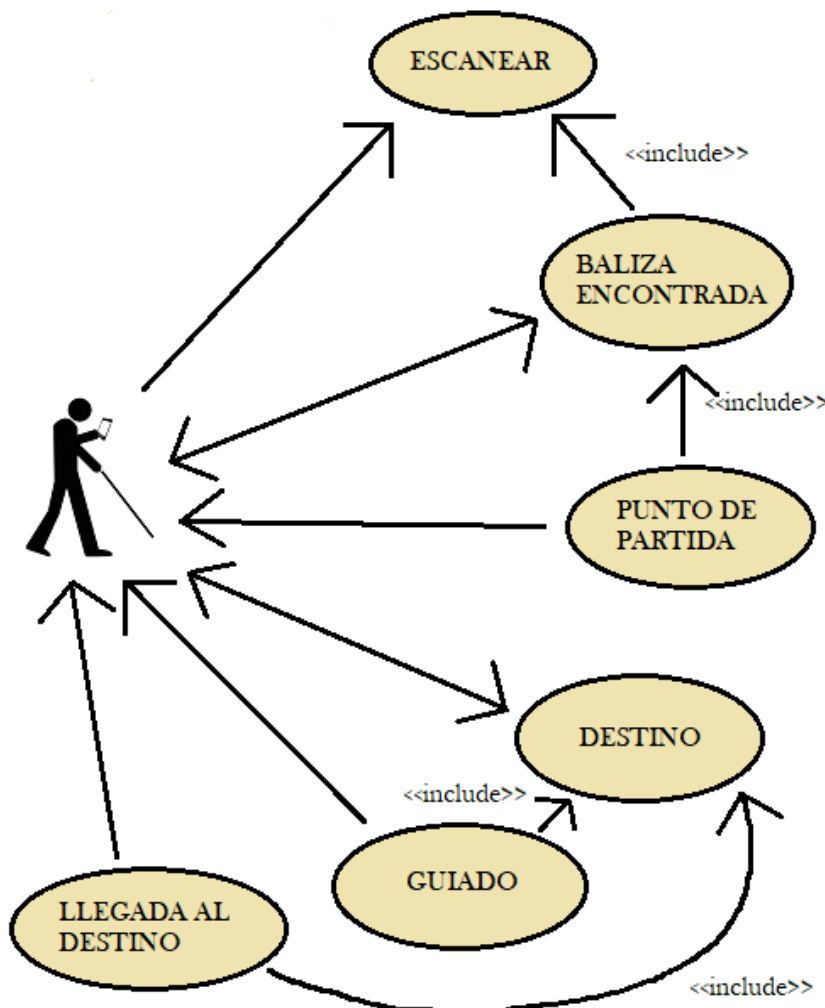


Figura 23 - Diagrama casos de uso. Solución 1.

Fuente: Propia

Hay 6 casos de uso y un usuario. La relación de inclusión entre casos de uso indica que sin el caso de uso padre el caso de uso hijo no podría funcionar. Las flechas de comunicación con el usuario nos indican en qué dirección del canal se realiza el traspaso de información, puede ser bidireccional.

Para una comprensión mejor de todos los casos de uso, en las siguientes plantillas se indican las características principales de cada uno. En cada plantilla se muestra con detalle de que consta y en que consiste cada caso de uso.

Nombre	CU0-Escaneear	
Descripción	El dispositivo realizara un escaneo periódico en busca de señales de <i>BLE</i> . Descartara las señales no conocidas e interactuara con las emitidas por balizas conocidas.	
Actores	Usuario	
Precondición	El dispositivo móvil debe tener activado el <i>Bluetooth</i> .	
Secuencia	Paso	Acción
Normal	1	Arrancar la aplicación y dejarla ejecutarse.
	2	Comienza los escaneo periódicos.
Postcondición	Localizada una baliza conocida, el usuario indica si ese es el edificio que está buscando. Se pasa al CU1.	
Excepciones	Paso	Acción
	2	Si el dispositivo móvil no tiene activado el <i>Bluetooth</i> , se indicara al usuario y este caso de uso terminara.
Estabilidad	alta	

Tabla 12 – CU0-Escaneear. Solución 1.



Nombre	CU1-Baliza encontrada	
Descripción	El dispositivo móvil después de un escaneo ha localizado una baliza de punto de partida conocida anunciándose. Indica al usuario donde se encuentra	
Actores	Usuario	
Precondición	El dispositivo móvil debe estar realizando escaneos.	
Secuencia	Paso	Acción
Normal	1	El dispositivo móvil informa al usuario del lugar en el que se encuentra.
	2	El usuario le indica si este es el edificio al que se dirige o no
	3	Si el edificio es el destino del usuario se le indica que se coloque en el punto de partida. CU2.
	4	Si el edificio no es el destino del usuario, se vuelve al CU0.
Postcondición	El usuario indica si el edificio encontrado es el destino.	
Estabilidad	alta	

Tabla 13 – CU1-Baliza encontrada. Solución 1.

Nombre		CU2-Punto de partida	
Descripción		El usuario se sitúa en el punto de partida.	
Actores		Usuario	
Precondición		El dispositivo móvil realiza escaneos buscando la baliza de punto partida.	
Secuencia Normal	Paso	Acción	
	1	El dispositivo móvil realizara escaneo periódicos buscando únicamente la baliza de punto partida	
	2	Cuando el dispositivo se encuentre en un rango de 1 metro de la baliza de punto de partida se lo indicara al usuario.	
Postcondición		Se pedirá al usuario el destino dentro del edificio. Pasamos al CU3.	
Excepciones	Paso	Acción	
	1	Si se pierde la señal de la baliza de punto de partida se indicara al usuario que se ha salido del radio de acción.	
Estabilidad		alta	

Tabla 14 – CU3-Punto de partida. Solución 1.



Nombre		CU3-Destino	
Descripción		El dispositivo móvil preguntara al usuario a que parte del edificio se dirige dándole una serie de opciones.	
Actores		Usuario	
Precondición		El usuario se debe encontrar a una distancia menor de 1 metro de la baliza de punto de partida	
Secuencia	Normal	Paso	Acción
		1	El dispositivo móvil preguntara al usuario cual es lugar del edificio al que quiere acudir.
		2	El usuario indicara al dispositivo móvil cual es el lugar al que quiere acudir dentro del edificio
Postcondición		Se comienzan a dar indicaciones al usuario. Se pasara al CU4.	
Excepciones		Paso	Acción
		2	Si el móvil no encuentra o no entiende al usuario, le indicara que vuelva a repetir el destino.
Estabilidad		alta	

Tabla 15 – CU3-Destino. Solución 1.

Nombre	CU4-Guiado	
Descripción	El dispositivo móvil ira lanzando indicaciones al usuario dependiendo de las acciones que este realice y del lugar en el que se encuentre hasta llegar al destino.	
Actores	Usuario	
Precondición	El usuario ha indicado al dispositivo móvil cual es el destino dentro del edificio.	
Secuencia	Paso	Acción
Normal	1	El dispositivo escaneara todas las balizas conocidas cercanas que están anunciándose y ubicara al usuario en el espacio.
	2	El dispositivo móvil lanzara por medio de voz indicaciones al usuario para que este vaya guiándose
Postcondición	Se localiza la baliza destino. Se pasara a CU6	
Excepciones	Paso	Acción
	1	Si no se detectan 3 balizas se lanzara un mensaje al usuario indicándole que no es posible guiarlo.
Estabilidad	alta	

Tabla 16 – CU4-Guiado. Solución 1.

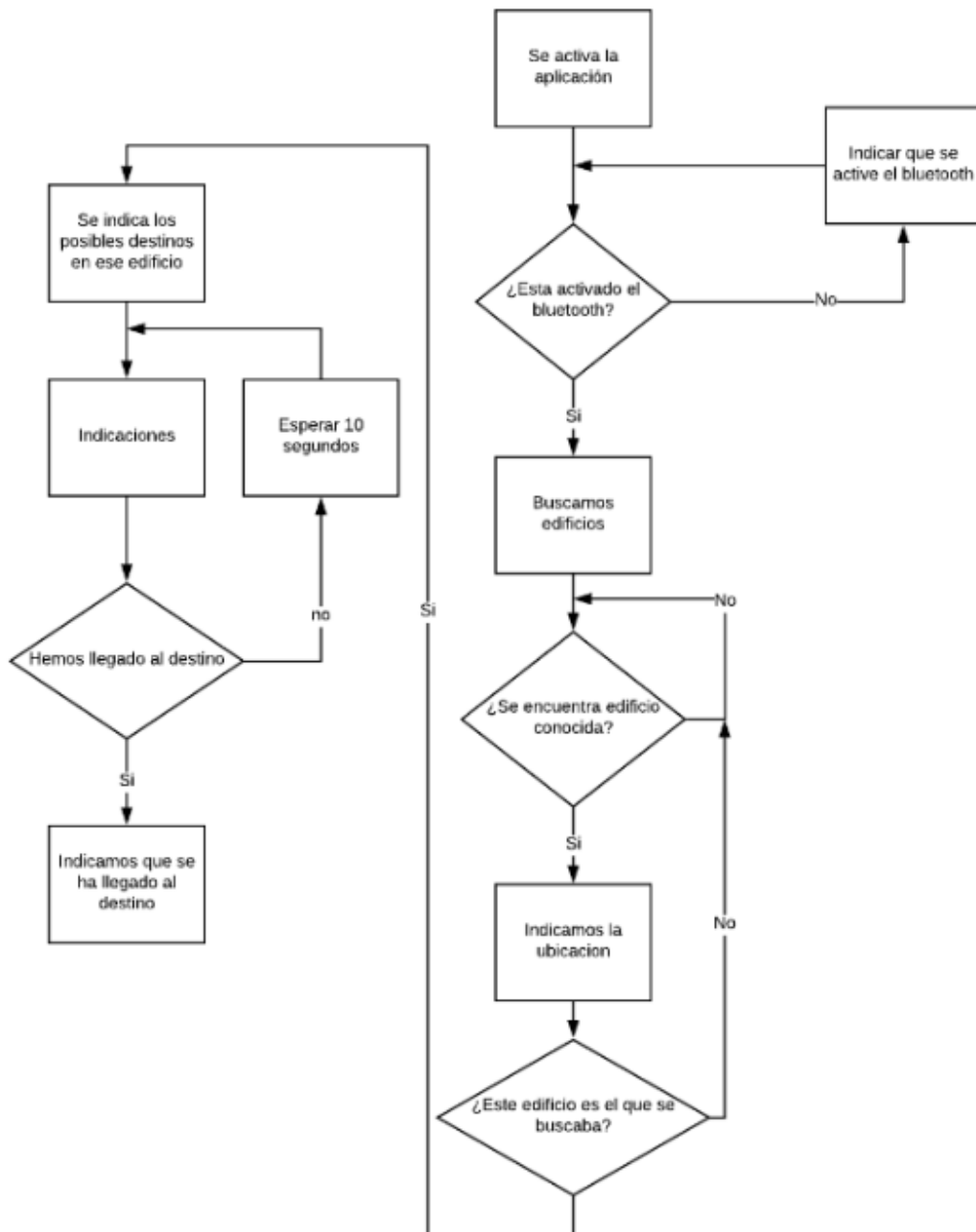
Nombre	CU5-Llegada al destino	
Descripción	El usuario se encuentra en el punto final de su recorrido.	
Actores	Usuario	
Precondición	El usuario se encuentra a una distancia menos de un 1 metro de la baliza destino.	
Secuencia	Paso	Acción
Normal	1	El dispositivo localiza el anuncio de la baliza destino y que la distancia a la que se encuentra es menor a 1 metro.
	2	El dispositivo móvil lanzara por medio de voz un mensaje indicando al usuario que ha llegado a su destino.
Postcondición	-	
Estabilidad	alta	

Tabla 17 – CU6-Llegada al destino. Solución 1.

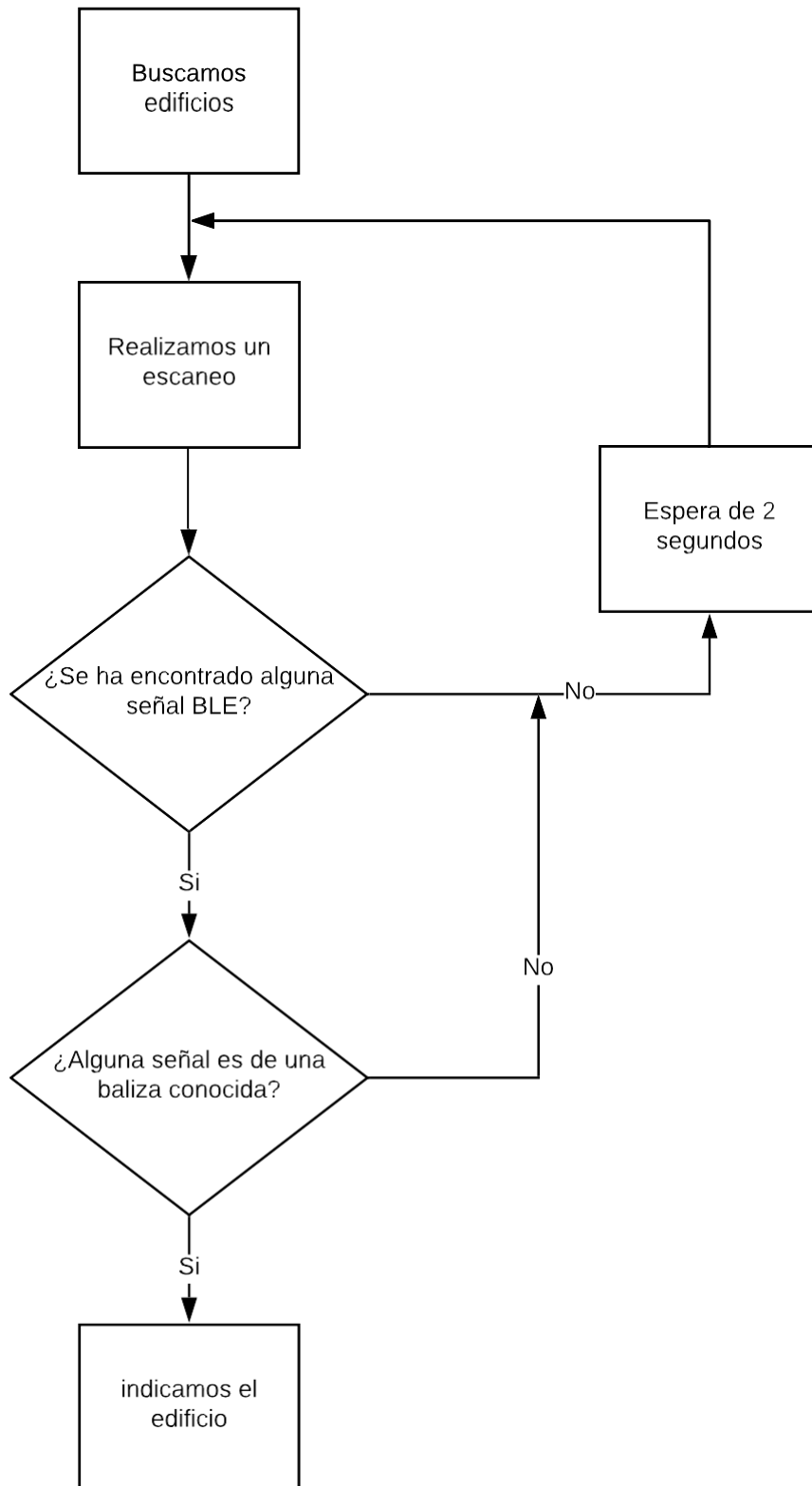
6.3.3 Lógica

Se han realizado unos diagramas de flujo para entender mejor como funcionaria la lógica del código que compondrá la aplicación.

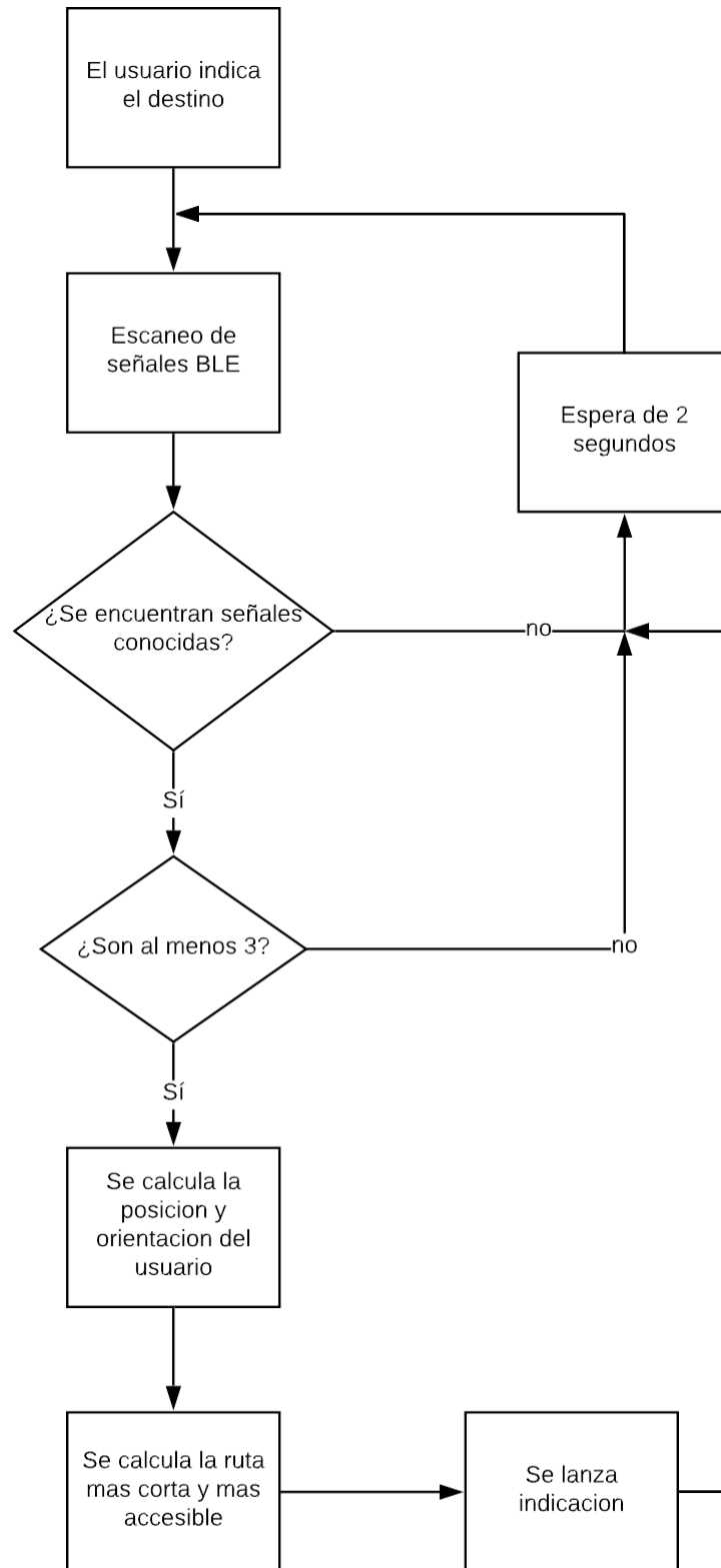
Se tiene un diagrama de flujo principal que muestra cómo sería el funcionamiento general de la aplicación desde que se activa hasta lograr un destino. Además se han añadido dos diagramas de flujo para obtener con mayor detalle algunas partes de la lógica.



Este es el diagrama de flujo principal de la aplicación. Desde que activamos la aplicación hasta que el usuario llega a su destino.



En este diagrama de flujo se entra en detalle en la parte en la que se busca un edificio conocido.



En este último diagrama de flujo se ve cómo funciona la lógica en la parte del guiado del usuario en el interior de los edificios.

6.3.4 Baliza

En el estudio de mercado realizado sobre las balizas se han analizado las diferentes *beacon* por separado y a partir de esos análisis se eligió la mejor baliza para esta solución.

Los modelos *Proximity beacon* y en el *IBKS PLUS* son los más adecuados para esta solución, se van a analizar sus principales diferencias. Descartamos de antemano el modelo *stickers* por su corto alcance combinado con la duración de la fuente de energía.

En cuanto al módulo *BLE* vemos que prácticamente tienen las mismas características, Potencia de emisión, frecuencia, velocidad de transmisión de datos y sensibilidad. *Proximity beacon* tiene el doble de memoria, pero la *IBKS PLUS* tiene una memoria suficiente para la aplicación a realizar.

En cuanto a la duración, que se relaciona con el alcance ya que si se reduce la potencia de emisión se reduce este y se alarga la vida de la baliza. *IBKS PLUS* tiene más de 15 meses de vida frente a los 10 meses de *Proximity beacon*. El alcance de la baliza de *Accent System* es mayor (100 metros frente a 70 metros) da un margen mayor para reducirle y ganar tiempo de duración de la fuente de energía.

Comparando ambos precios, *IBKS PLUS* es un 28% más cara que *Proximity beacon*. Teniendo en cuenta que se trata de un alto número de balizas la diferencia de coste será grande. Por otro lado y relacionado con lo anterior, *IBKS PLUS* al tener una vida más larga necesitará menos cambios de batería que supondrá un ahorro en mantenimiento sobre *Proximity beacon*.

Si se supone una instalación con 100 balizas, con un coste por batería:

	Tipo de pila	Precio	Proveedor
Proximity beacon	Pila botón CR 2477 3V	3,79 €	electronic.es
IBKS PLUS	Pila tipo AA x4	5,05 €	Energizer

Tabla 18 - Fuente de energía por modelo analizado.

El coste de la instalación de 100 balizas supondría en materiales, se supone el mismo coste de instalación independientemente del tipo de baliza. La tabla 20 muestra que en una instalación de 100 balizas habría una diferencia de 625€ a favor del modelo *Proximity beacon*:

	Número balizas	Coste baliza	Coste total balizas	Diferencia
Proximity beacon	100	16,25 €	1.625,00 €	625,00 €
IBKS PLUS	100	22,50 €	2.250,00 €	-625,00 €

Tabla 19 - Coste de instalación de 100 balizas por modelo analizado.

Los gastos de mantenimiento de estos dos modelos de baliza evolucionarían durante el tiempo de la siguiente manera.

Durante 5 años se harían un total de 6 y 4 cambios de pilas respectivamente en cada modelo por baliza. Cuanto más tiempo transcurre, la diferencia de coste total de cada instalación va siendo menor.

5 años:

	Vida(meses)	Numero de cambios	Coste de cambios	Diferencia	Total
Proximity beacon	10	6	2.274,00 €	-254,00 €	371,00 €
IBKS PLUS	15	4	2.020,00 €	254,00 €	-371,00 €

Tabla 20 - Gastos de mantenimiento durante 5 años en los modelos de baliza analizados.

10 años:

	Vida(meses)	Numero de cambios	Coste de cambios	Diferencia	Total
Proximity beacon	10	12	4.548,00 €	-508,00 €	117,00 €
IBKS PLUS	15	8	4.040,00 €	508,00 €	-117,00 €

Tabla 21 - Gastos de mantenimiento durante 10 años en los modelos de baliza analizados.

12 años y 6 meses:

	Vida(meses)	Numero de cambios	Coste de cambios	Diferencia	Total
Proximity beacon	10	15	5.685,00 €	-635,00 €	-10,00 €
IBKS PLUS	15	10	5.050,00 €	635,00 €	10,00 €

Tabla 22 - Gastos de mantenimiento durante 12 años en los modelos de baliza analizados.

Como se ve en las tablas anteriores, a partir de los 12 años y 6 meses de instalación sale más barato la instalación del modelo *IBKS PLUS*. Es importante apuntar que se ha tomado el tiempo de vida de las baterías más desfavorable, pero como se vio anteriormente *IBKS PLUS* puede alargarla más que *Proximity beacon* ya que con menos potencia de emisión tiene mismo alcance. Por lo que la amortización sería anterior a los 12,5 años.

Finalmente se concluye que el modelo más idóneo para la solución 1 es el *Proximity beacon*. Tiene un largo alcance que va a permitir ahorrar energía. La vida de sus baterías es una de las más altas de todas. Su módulo *BLE* tiene todas las prestaciones del resto de balizas que hay actualmente en el mercado que son más que suficientes para el fin de la aplicación. El precio no es demasiado elevado 16,25€/unidad.



Con el paso del tiempo saldría mejor económicamente la instalación del modelo *IBKS PLUS*, pero esto sería a partir de 12 años y 6 meses. La rapidez con la que se evoluciona en la industria tecnológica hoy en día hace que 12 años sea un periodo demasiado largo. Los modelos ya habrán quedado obsoletos para entonces. Por eso aunque con el paso del tiempo sería mejor *IBKS PLUS*, se elige el modelo *Proximity beacon*.

6.3.5 Geo-Localización: Trilateración

Para esta solución se ha pensado en imitar el comportamiento del GPS.

Ya se vio anteriormente como funciona este sistema, aunque ahora lo veremos con más detalle.

La trilateración se basa en la matemática para obtener las posiciones relativas de objetos o dispositivos usando la geometría de los triángulos. Utiliza la posición conocida de dos o más puntos que se toman como referencia, y la distancia del objeto o dispositivo a cada punto de referencia. Para obtener de forma única la posición relativa de un objeto en un plano bidimensional es necesario al menos 3 puntos de referencia, cuantos más punto se tengan mayor será la precisión.

El GPS se vale de 24 satélites en órbita con la tierra, los cuales son sus puntos de referencia. Están sincronizados para cubrir entre todos toda la superficie terrestre en todo momento.

Si se extrapola el concepto, las balizas pueden ser los satélites del GPS. Se podría construir un GPS de interiores. Para ello serían necesarios los siguientes requisitos para poder llevarlo a cabo:

- Las balizas deben cubrir todo el espacio por el que el usuario pudiera transitar dentro de un edificio.

- En todo momento al menos tres balizas deberían ser capaces de hacer llegar su información al dispositivo móvil.

Si a la información enviada por las balizas se le añade la obtenida por los sensores del dispositivo móvil, como el acelerómetro y el detector del campo magnético de la tierra. Se podrá conseguir un GPS de interiores.

Para calcular por medio de la trilateración una posición en un plano, es necesario conocer la localización de al menos 3 puntos de referencia y la distancia a la posición. Los puntos de referencia siempre van a ser datos conocidos ya que serán las balizas instaladas. La distancia al punto que se quiere hallar se consigue de la siguiente manera.

Cuando se habló de las características de las balizas se mencionó el concepto *Tx Power*. Es el valor de la potencia de señal teórico que se recibiría a un metro de distancia de la baliza medido en dBm [decibelio/mili voltio]. *RSS* (*received signal strength*) es la potencia con la que se recibe una señal en un punto concreto, va variando dependiendo la distancia. La relación entre los dos conceptos anteriores queda definida por el *RSSI* (*received signal strength indicator*), es una escala de referencia. Cuanto mayor sea el valor *RSSI* más potente es la señal. El *RSSI* es representante de la calidad relativa de una señal recibida de un dispositivo. Esta señal por norma general se mide en número negativos, cuanto más cercano sea la intensidad al 0 mayor será la intensidad.

Un señal se considera aceptable si se encuentra en el intervalo $-50 > \text{db} > -100$. Valores mayores de -50 se considera una señal buena y valores menores de -100 una señal prácticamente nula.

RSSI queda relacionado con la distancia por la siguiente ecuación:

$$RSSI[dBm] = -10 \cdot n \cdot \log_{10} d + A[dBm]$$

- *n*: Es una constante que depende del medio en el que se realiza la comunicación. En el vacío es 2, en un entorno real se ve afectada por fenómenos como la reflexión, difracción, dispersión y los objetos del entorno. Se debe calcular empíricamente.

- *d*: Es la distancia entre el emisor y el receptor.

- *A*: Es el valor que se obtiene de *RSSI* a un metro del emisor, lo que es lo mismo que el concepto de *Tx Power*.

Despejando *d* de la expresión anterior, se obtiene la distancia relativa entre el emisor y el receptor:

$$d = 10^{\frac{RSSI-A}{10 \cdot n}}$$

La precisión quedara muy determinada por la previa calibración del valor *Tx Power* de las balizas y la precisión del receptor a la hora de obtener el valor *RSSI*.

Una vez calculada la distancia desde los diferentes puntos de referencia hasta el usuario, se puede calcular la posición mediante trilateración.

La idea se basa en que tomamos un plano con coordenadas cartesianas (Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid sede Fco. Mendizábal) de las cuales se quiere conocer un punto, (*x*, *y*). Se sabe la

posición en este plano de 3 puntos de referencia (x_1, y_1) , (x_2, y_2) y (x_3, y_3) . Los puntos de referencia serán las posiciones de las balizas. Además conocemos la distancia (d_1, d_2, d_3) del punto (x, y) a los 3 puntos de referencia.

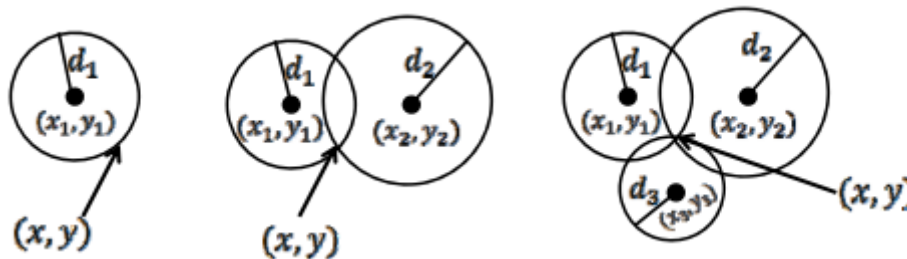


Figura 24 - Análisis gráfico trilateración.

Fuente: Apuntes de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.

En la ilustración anterior Figura [24] se ve porque se necesitan al menos 3 puntos de referencia. Si solo hubiera 1, el punto (x, y) podría estar en toda la circunferencia, si solo hubiera 2 el punto (x, y) podría estar en dos puntos diferentes y con 3 puntos de referencia solo es posible que este en un único punto.

Ecuaciones:

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \quad \text{①}$$

$$d_2 = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} \quad \text{②}$$

$$d_3 = \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} \quad \text{③}$$

Tenemos dos incógnitas, por lo que solo serían necesarias dos ecuaciones para resolverlas. Pero como hemos visto antes habría dos posibles soluciones y en este caso no es suficiente. La tercera ecuación fuerza a obtener una única solución.

Si se trabaja matemáticamente estas expresiones se llega a encontrar el punto que se busca:

Se elevan al cuadrado y se restan ① y ②.

$$d_1^2 - d_2^2 = -2 \cdot x \cdot (x_1 - x_2) - 2 \cdot y \cdot (y_1 - y_2) + x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2$$

↓

$$-\frac{(d_1^2 - d_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2)}{2} = x \cdot (x_1 - x_2) + y \cdot (y_1 - y_2) \quad \text{④}$$

↓

$$A = -\frac{(d_1^2 - d_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2)}{2}$$

A será el primer término de la ecuación (4).

$$y = \frac{A - x \cdot (x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)}$$

Se sustituye y en la ecuación (1):

$$d_1^2 = (x - x_2)^2 + \frac{1}{(y_1 - y_2)^2} \cdot (A^2 - 2Ax(x_1 - x_2) + x^2(x_1 - x_2)) - 2\left(\frac{A - x \cdot (x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)}\right)y_1 + y_1^2$$

↓

$$0 = x^2 \left[1 + \left(\frac{(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)} \right)^2 \right] + x \left[-2x_1 - 2A \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} - 2A \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2} y_1 \right] + \left[\frac{A^2}{y_1 - y_2} + y_1^2 - d_1^2 \right]$$

Se obtenido una ecuación de segundo grado, de la cual se sacaran dos valores para x y dos valores para y.

Si se realiza el mismo proceso entre las ecuaciones (1) y (3). De nuevo se obtiene una ecuación de segundo grado que dará dos valores para x y otros dos para y.

$$0 = x^2 \left[1 + \left(\frac{(x_1 - x_3)}{(y_1 - y_3)} \right)^2 \right] + x \left[-2x_1 - 2B \frac{x_1 - x_3}{y_1 - y_3} - 2B \frac{x_1 - x_3}{y_1 - y_3} y_1 \right] + \left[\frac{B^2}{y_1 - y_3} + y_1^2 - d_1^2 \right]$$

Donde B es:

$$B = -\frac{(d_1^2 - d_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2)}{2}$$

Habrà dos pares de x y dos pares de y. Las x más parecidas y las y más parecidas será la posición (x, y) que se está buscando.

En esta solución todos los cálculos son realizados por el dispositivo móvil. Las balizas estarán en todo momento anunciando su identificador, su nombre y la potencia de la señal. Con estos datos el móvil calculara, como se ha indicado, la posición exacta del usuario en el plano y dará las indicaciones en consecuencia a esta posición y al destino.

Una vez que se tiene el punto exacto donde se encuentra el usuario dentro del plano de ejes cartesianos solo queda saber si se está moviendo y cuál es su orientación. Para estas dos últimas características se valdrá de los sensores que tiene incorporado el dispositivo móvil.



Mediante el sensor del campo magnético de la tierra o brújula del dispositivo móvil se sabrá en todo momento hacia donde está orientado el usuario. Dependiendo de su orientación las indicaciones pueden ser diferentes. Es importante saber si el usuario permanece parado o está en movimiento. Esto se determinará mediante el acelerómetro que el dispositivo móvil tiene incorporado. De esta manera lo primero que se hará es orientar sobre sí mismo al usuario para después lanzarle indicaciones para que se vaya moviendo por el interior del edificio.

Ubicación de las balizas:

La importancia de la ubicación de las balizas radica en que se tiene que cubrir toda la superficie del edificio, así como conseguir que el dispositivo móvil siempre logre captar al menos 3 señales.

Las balizas que se van a utilizar tienen un alcance de 70 metros cuando emiten a su máxima potencia de emisión. Se ha decidido que estas balizas operen con un alcance de 25 metros. Con esto se conseguirá cubrir de una manera óptima toda la superficie y además ahorrando energía.

Se muestra cómo sería la distribución de las balizas en el piso bajo de la escuela de ingenierías industriales de la Universidad de Valladolid sede de la calle Francisco Mendizábal. Este proceso habría que hacerlo con todos los edificios que vayan a integrarse en la aplicación así como todas las plantas de cada edificio.

El plano de la planta baja de la EII es el siguiente Figura [25]:



Figura 25 - Plano planta baja EII sede Fco. Mendizábal.

Fuente: Propia

1 Entrada	9 Lab. Electricidad	17 Aula
2 Hall	10 Lab. Maquinas Elec.	18 Aula
3 Secretaria	11 Despacho	19 Despacho
4 Biblioteca	12 Despacho	20 Despacho
5 Conserjería	13 Despacho	21 Lab. Física
6 Sala de estudio	14 Aparcamiento Bicicletas	22 Baño. Fem.
7 Aula BA1	15 Aula	23 Baño. Masc.
8 Aula BA2	16 Aula	

Para la instalación de las balizas solo es necesario saber las medidas de los lugares de tránsito como son los pasillos, hall o espacios abiertos Figura [26]. Las medidas del plano estas expresadas en metros.

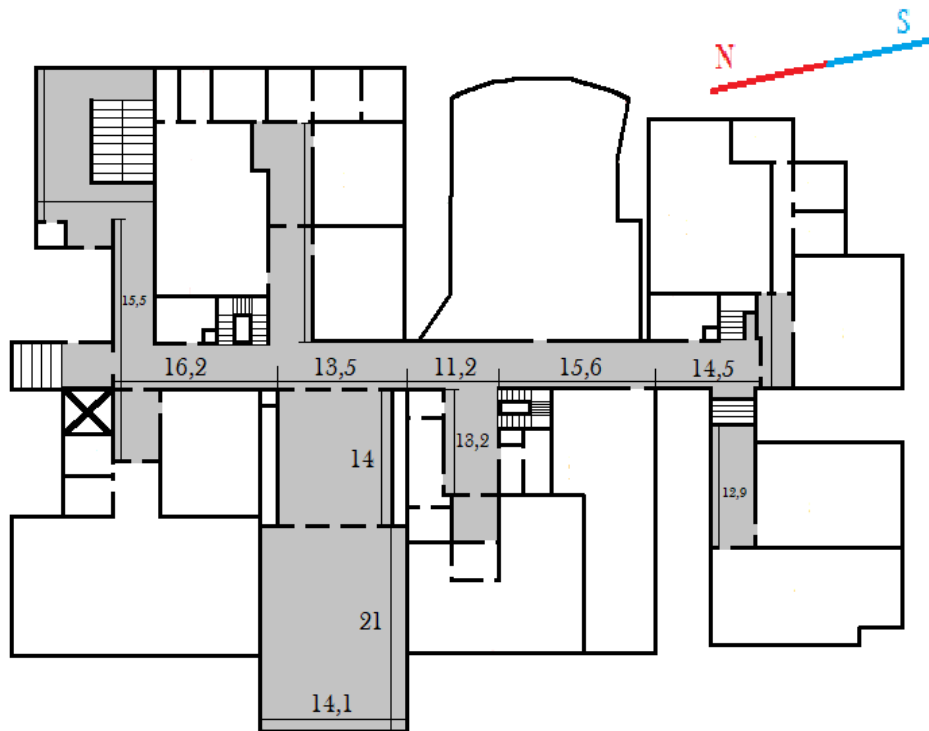


Figura 26 - Plano con medidas de la planta baja de la EII sede Fco. Mendizábal.

Fuente: Propia.

Estas son las medidas que se tendrán en cuenta para la colocación de las balizas. Se debe cubrir todo el espacio de lugares de tránsito con las señales de las *beacons*, además siempre tiene que haber tres balizas al alcance del usuario. Se programan las balizas con un alcance de 25 metros.

La distribución de las balizas es la siguiente Figura [27]:

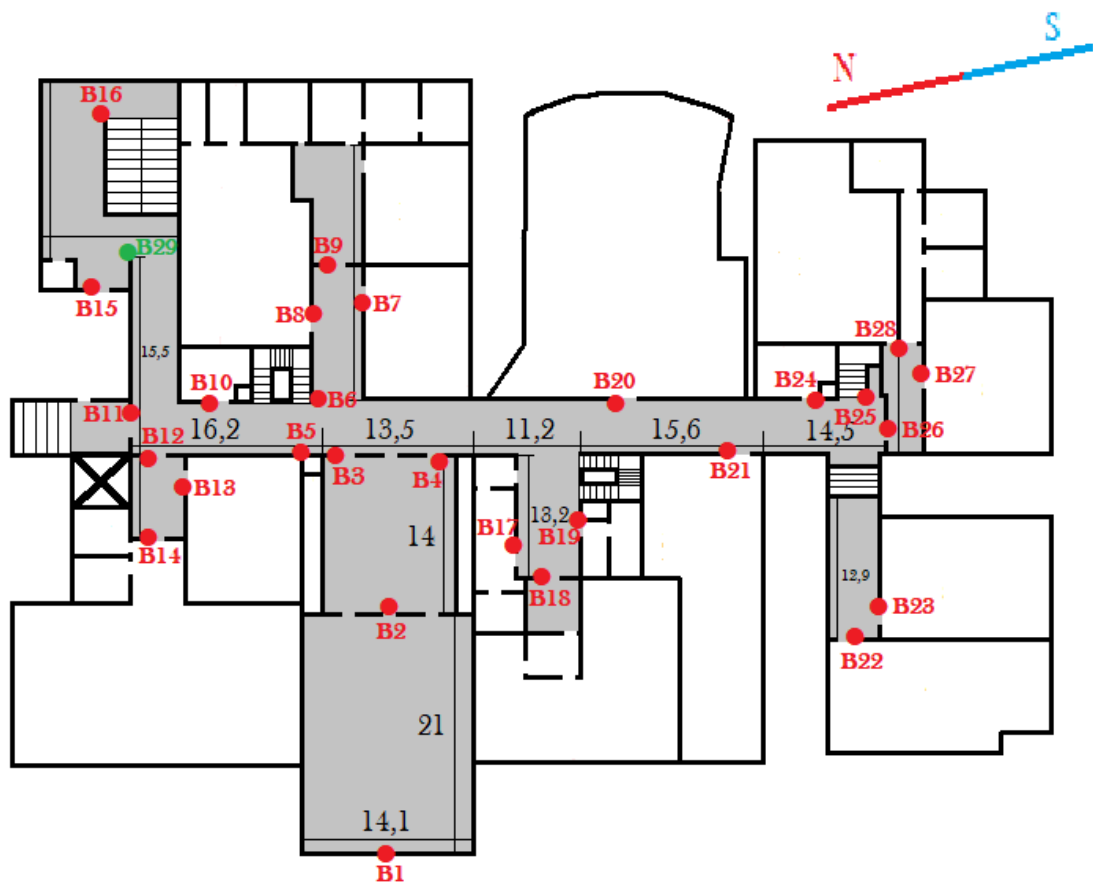


Figura 27 - Plano con la ubicación de las balizas en la planta baja de la EII sede Fco. Mendizábal. Solución 1.

Fuente: Propia.

B1	Entrada Principal	B11	Dep. Materiales	B21	Sala de estudio
B2	Entrada Hall	B12	Entrada a Lab. Física	B22	Aula
B3	Entrada 1 Pasillo	B13	Aula	B23	Aula
B4	Entrada 2 Pasillo	B14	Lab Física	B24	Baños Masc.
B5	Ascensor	B15	Salida a exterior	B25	Escalera
B6	Escaleras	B16	Escaleras	B26	Entrada lab. Maquinas
B7	Aula	B17	Secretaria	B27	Lab. Electrotecnia
B8	Aula	B18	Biblioteca	B28	Lab maquinas eléctricas
B9	Despachos	B19	Conserjería/Ascensor	B29	Baliza auxiliar
B10	Baños Fem.	B20	Aparcamiento Bicicletas		

Se ha decidido colocar las balizas en lugares susceptibles de ser destinos en esta planta como son: puertas de acceso a aulas, baños,



laboratorios, escaleras etc... Esto facilitara la ubicación del usuario de una forma más precisa. Siempre que se realiza una medición obtenemos un error. Mientras se realiza la orientación por los sitios transitables el error es aceptable, pero para llevar a la persona al sitio exacto es necesario una baliza que indique que el usuario está en ese punto exacto.

La baliza B29 se ha añadido porque son necesarias 3 balizas para realizar el cálculo de trilateración. En esa zona de la planta baja hay puntos donde sin esta baliza B29 el dispositivo móvil solo recibiría la señal de dos balizas. Por este motivo esta baliza ha sido añadida.

El único punto diferente es el acceso al edificio. Ya se comentó que en la entrada del edificio habrá una baliza de partida. En este caso el edificio tiene una verja externa por lo que se han puesto dos balizas punto de partida, una en la verja B1 y otra en la puerta de entrada B2. La baliza de la verja (B1) o baliza de partida auxiliar estará calibrada de manera diferente al resto. Esta baliza se quiere que tenga un mayor alcance por eso se programara para que llegue a los 50 metros. El consumo será mayor pero de esta manera la señal llegara a usuarios más lejanos.

En la figura [28] se observa como con tan solo 8 balizas habría sido posible cubrir todo el espacio transitable de la planta baja de le EII sede Francisco Mendizábal. La diferencia entre las 8 balizas necesarias y las 29 que habría que instalar radica en lo siguiente. Como se ha dicho son necesarias 3 balizas para realizar el cálculo de trilateración y que para conseguir una mayor precisión en el guiado se colocaba una baliza por posible destino.

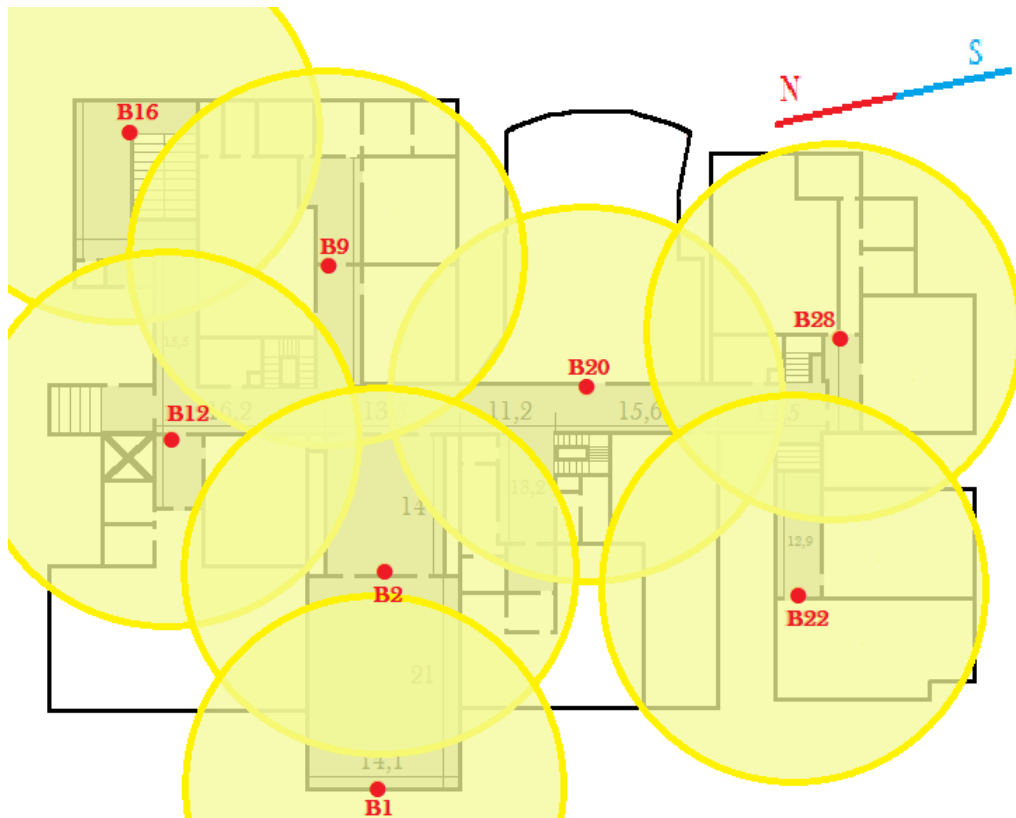


Figura 28 - Plano con el área cubierto por 8 balizas en la planta baja de la EII sede Fco. Mendizábal. Solución 1.

Fuente: Propia.

6.3.6 Error en la medición

Para calcular el error sería necesario al menos una mínima parte del sistema montado y poder realizar diferentes pruebas y determinar el error a la hora de obtener la posición. Como lo anterior no es posible habrá que apoyarse en estudios realizados anteriormente.

-Labs BEEVA: Error de 1,8 metros.

- Dpto. de Electrónica y Sistemas. Universidad de La Coruña: Javier Rodas, Tiago M. Fernández, Daniel I. Iglesia, Carlos J. Escudero: Error de 1,15 metros.

Para el posicionamiento por los lugares transitables ± 2 metros es un error aceptable. Para ganar precisión se han colocado las balizas en lugares susceptibles de ser destinos.



6.4 Posible solución 2

En esta segunda solución se planteara una alternativa al guiado propuesto en la primera. La solución 1 se asemeja a un GPS de interiores el cual tendrá localizado al usuario en todo momento. Esta segunda no tendrá localizado al usuario en el edificio. En este caso el usuario ira recibiendo las indicaciones oportunas según vaya alcanzando diferentes puntos del edificio.

En la solución 1 se utilizan las balizas para obtener la distancia a estas. Con esta distancia y mediante la trilateración se obtiene la posición exacta del usuario dentro del edificio. Dependiendo la posición del usuario en el plano y el destino final se irán lanzando las indicaciones.

En la solución 2 se utilizan las balizas para ubicar de una manera aproximada al usuario en el edificio. De tal manera que dependiendo de la baliza que se localice se sabrá en que zona del edificio se encuentra. Esto siempre será de una manera aproximada, no tan exacta como en la solución 1.

Este guiado no será secuencial. Las indicaciones no dependen de cuales han sido las anteriores o cuales van a ser las siguientes. No se trata de un recorrido marcado en el cual se van alcanzando hitos. Será un guiado combinacional, en el que la indicación solo dependerá del destino final y la baliza localizada.

En este caso el funcionamiento será el siguiente. Habrá una serie de balizas colocadas por el edificio. El dispositivo móvil será el encargado de ir localizando las diferentes balizas. En el momento que se localice una baliza se enviara por mensaje de voz una indicación, para llegar correctamente al destino deseado. Solo cuando se localice una baliza se enviara la indicación. Si el dispositivo móvil no localiza ninguna baliza no se enviaran indicaciones. Por los lugares transitables del edificio se irán localizando balizas y en todas se lanzaran indicaciones que llevan al destino. De tal suerte que independientemente la baliza que se localice esta lanzara una indicación hacia el destino.

Esta segunda solución compartirá con la primera la búsqueda de edificios. El usuario caminara hacia un edificio de la universidad con el dispositivo móvil en la mano. Cuando este lo suficientemente cerca de la puerta de acceso al edificio el dispositivo móvil comenzara a vibrar, haciéndole saber que ha localizado un edificio de la universidad. El usuario, agitando su dispositivo, hará saber si quiere recibir la información del lugar o no.

Una vez que se ha llegado al edificio deseado la aplicación mostrara, mediante un mensaje de voz, los posibles destinos dentro del edificio. Cada posible destino ira acompañado de un número, empezando por el 1 hasta el número de destinos posibles. Una vez escuchados todos los destinos se tocara la pantalla y a continuación se indicara por voz el número del destino deseado. De tal suerte que si los posibles destino son: Laboratorio de máquinas, numero 1 o laboratorio de Física número 2 y el usuario desea ir al laboratorio de física. El usuario tocara la pantalla y dirá “dos”.

A partir de este momento el destino ya ha sido guardado y comienza el guiado por el interior del edificio. Cuando se localice cualquier baliza dentro del edificio solo se mostrara la información relativa al destino elegido por el usuario. Esto quiere decir que al localizar una baliza no se mostraran todos los destinos posibles desde ese punto, sino que solo se informara al usuario de las indicaciones oportunas para llegar al destino final. De esta manera independientemente del lugar en el que se encuentre el usuario dentro del edificio, todas las indicaciones que reciba le llevaran al destino.

Para esta solución se ha intentado que la implementación de la aplicación en cualquier edificio sea lo más sencilla posible. Para ello se ha pensado en una base de datos a la que acuda el dispositivo móvil. Dependiendo de la baliza que se detecte cambiara el valor de las variables obtenidas, con las cuales se obtendrá una información u otra de la base de datos. De tal manera que si se quiere añadir un nuevo edificio a la aplicación habría que añadirlo a la base de datos y realizar la instalación de la balizas. No habría que hacer cambios en la aplicación.

La base de datos estará compuesta por diferentes tablas. Cada tabla corresponderá con un edificio.

Edificio EII Francisco Mendizábal				
Baliza	Piso Baliza	Destino	Piso Destino	Indicacion
B1		0 Maquinas		0 ...
B2		0 Maquinas		0 ...
B3		0 Maquinas		0 ...
B4		0 Maquinas		0 ...
B5		0 Maquinas		0 ...
B6		0 Maquinas		0 ...
B7		0 Maquinas		0 ...
B1		0 Fisica		0 ...
B2		0 Fisica		0 ...
B3		0 Fisica		0 ...
B4		0 Fisica		0 ...
B5		0 Fisica		0 ...
B6		0 Fisica		0 ...

Figura 29 - Base de datos Solución 2

Fuente: Propia.



En la figura [29] se puede ver el aspecto de la base de datos. Esta sería la tabla del edificio El Francisco Mendizábal. En ella estará guardado el nombre de la baliza, su piso, los posibles destinos, el piso del destino y la indicación. La aplicación sería la encargada de recoger las variables, destino, baliza, piso de la baliza y con ellas rescatar la indicación correcta de la base de datos. Las balizas trabajarán en modo *Advertising Data payload*, por lo que el dispositivo móvil solo tendrá que recoger estos *Advertising* y acudir a la base de datos a extraer los datos necesarios.

Dando el nombre correcto a las diferentes balizas y añadiendo el edificio en la base de datos, se podría utilizar la aplicación en otros edificios.

6.4.1 Requisitos funcionales

Se enumeran cuáles son los requisitos funcionales de la aplicación. Pero antes se van a mencionar los requisitos no funcionales pero que son necesarios para que la aplicación funcione correctamente.

Requisitos no funcionales

-1: El dispositivo tiene que tener activado el *Bluetooth*, para poder realizar los escaneos de balizas.

-2: El dispositivo debe tener una versión de *Android* igual o superior a las 4.3 o una versión de *iOS* igual o superior a la 7.0 para ser compatible con el *BLE*.

-3: La aplicación tiene que estar ejecutándose en primer o segundo plano, si está detenida no funcionara.

Requisitos funcionales

-1: Al activar la aplicación dará la bienvenida y solo mostrara una imagen por pantalla.

-2: La aplicación comenzara a realizar escaneos periódicos en busca de balizas activas.

-3: Cuando la aplicación encuentre una baliza conocida indicara mediante voz al usuario donde se encuentra. El usuario podrá indicar que ese no es el edificio al que quiere llegar.

-4: Una vez el usuario se encuentre en el edificio deseado, se realizaran escaneo periódicos en busca de balizas.

-5: El dispositivo hará saber al usuario cuando localice una baliza, y este indicara si desea recibir el mensaje (Agitar el dispositivo móvil) o no (no agitar el dispositivo móvil).

6.4.2 Casos de uso

La aplicación, Alejandría, se relacionara con el usuario mediante la voz y el movimiento de la mano.

En la figura [30], diagrama de casos de uso, se muestra de una forma gráfica como se relaciona el usuario con la aplicación y con las diferentes funcionalidades.

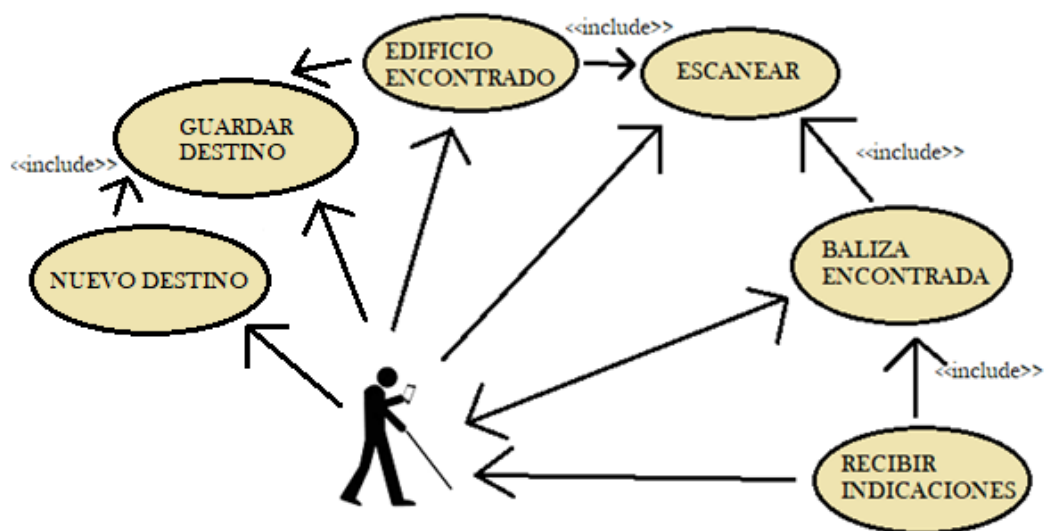


Figura 30 - Diagrama casos de uso. Solución 2.

Fuente propia

Hay 6 casos de uso y un usuario. La relación de inclusión entre casos de uso indica que sin el caso de uso padre el caso de uso hijo no podría funcionar. Las flechas de comunicación con el usuario indican en qué dirección del canal se realiza el traspaso de información, puede ser bidireccional.

Para una comprensión mejor de todos los casos de uso se ha creado una plantilla donde se indican las características principales de cada caso. En cada plantilla se muestra con detalle de que consta y en que consiste cada caso de uso.



Nombre	CUO-Escanear	
Descripción	El dispositivo realizara un escaneo periódico en busca de señales de <i>BLE</i> . Descartara las señales no conocidas e interactuara con las emitidas por balizas conocidas.	
Actores	Usuario	
Precondición	El dispositivo móvil debe tener activado el <i>Bluetooth</i> .	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Arrancar la aplicación y dejarla ejecutarse en primer o segundo plano.
	2	Comienza los escaneos periódicos.
Pos-condición	Localizada una baliza conocida, se pasa al CU1 o al CU2.	
Excepciones	Paso	Acción
	2	Si el dispositivo móvil no tiene activado el <i>Bluetooth</i> , se indicara al usuario y este caso de uso terminara.
Estabilidad	Alta	

Tabla 23 - CUO-Escanear. Solución 2.

Nombre	CU1-Edificio encontrado	
Descripción	El dispositivo móvil después de un escaneo ha localizado una baliza conocida anunciándose. Indica al usuario donde se encuentra.	
Actores	Usuario	
Precondición	El dispositivo móvil debe estar realizando escaneos.CU0.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	El dispositivo móvil informa mediante vibración de que ha encontrado una baliza.
	2	El usuario le indica si desea recibir la información de la baliza. Mediante un movimiento de mano. (Agitando el dispositivo móvil)
	3	Si el usuario quiere recibir la información, mediante voz se le informa de los posibles destinos en el edificio.
4	Si el edificio no es el destino del usuario, el dispositivo móvil retomara los escaneos.	
Pos-condición	El usuario indica si el edificio encontrado es el destino. Se pasa al CU0.	
Estabilidad	alta	

Tabla 24 - CU1-Edificio encontrado. Solución 2.



Nombre	CU2-Guardar destino	
Descripción	El usuario indica cual es el destino al que desea llegar	
Actores	Usuario	
Precondición	El usuario quiere recibir la información de los posibles destinos en el edificio.	
Secuencia	Paso	Acción
Normal	1	El dispositivo móvil informa mediante mensaje de voz de los diferentes destinos.
	2	El usuario le indica que va a decir su destino, tocando la pantalla.
	3	El dispositivo móvil guarda el destino.
Pos-condición	El usuario indica el destino. Se pasa al CU0.	
Estabilidad	alta	

Tabla 25 – CU2-Edificio encontrado. Solución 2.

Nombre	CU3-Baliza encontrada	
Descripción	El dispositivo móvil después de un escaneo ha localizado una baliza conocida anunciándose. Indica al usuario mediante vibración que ha encontrado una baliza	
Actores	Usuario	
Precondición	El dispositivo móvil debe estar realizando escaneos.	
Secuencia	Paso	Acción
Normal	1	El dispositivo móvil informa al usuario mediante vibración que ha encontrado una baliza.
	2	El usuario indica si desea recibir la información de esta baliza o no. Mediante un movimiento de mano. (Agitando el dispositivo móvil)
	3	Si el usuario desea recibir la información, pasaremos al CU3.
	4	Si el usuario no desea recibir la información pasaremos al CU0.
Pos-condición	El usuario indica si desea recibir la información.	
Estabilidad	alta	

Tabla 26 – CU3-Baliza encontrada. Solución 2.



Nombre		CU4-Recibir indicaciones	
Descripción		El dispositivo móvil después de un escaneo ha localizado una baliza conocida anunciándose. Indica al usuario que se ha encontrado la baliza y este le dice que quiere recibir la información.	
Actores		Usuario	
Precondición		El usuario debe indicar que quiere recibir la información	
Secuencia Normal	Paso	Acción	
	1	El dispositivo móvil indicara al usuario que gire sobre sí mismo.	
	2	Cuando el usuario este colocado en la orientación correcta respecto a la baliza, se lanzara la indicación.	
	3	Si muestra, mediante mensaje de voz, la información al usuario.	
Pos-condición		Se pasa al CU0.	
Estabilidad		alta	

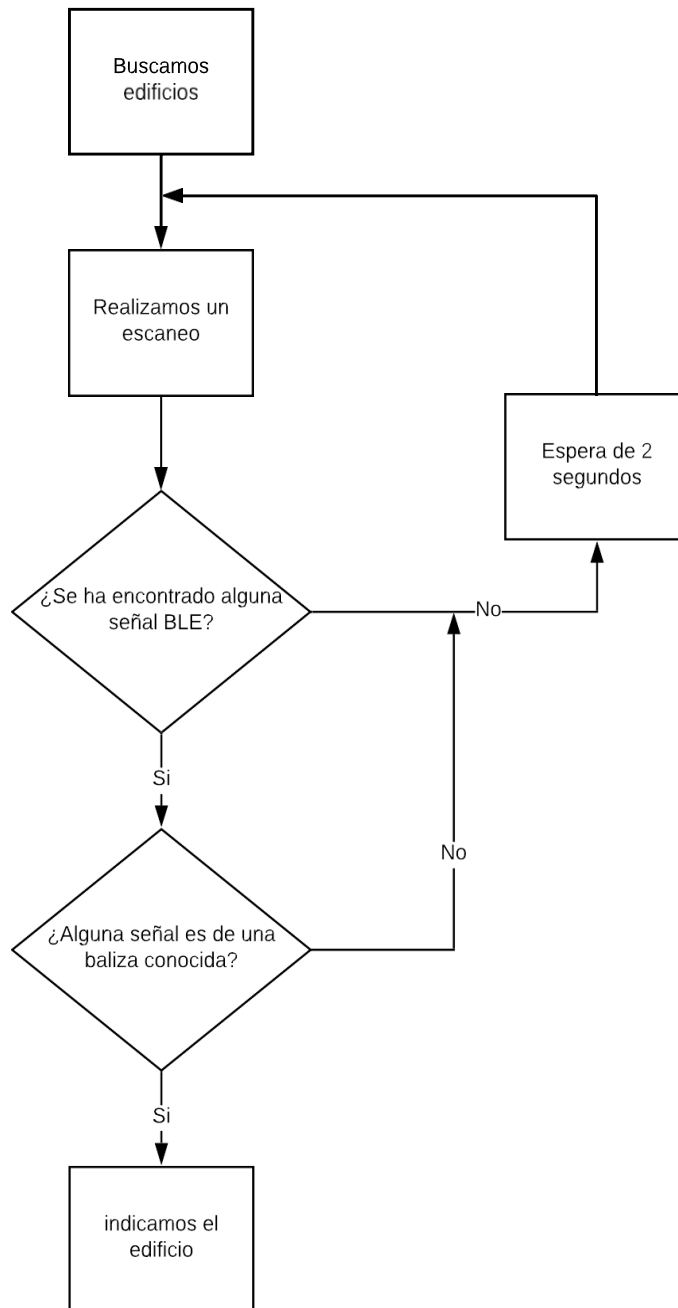
Tabla 27 – CU4-Baliza encontrada. Solución 2.

Nombre		CU5-Nuevo Destino	
Descripción		El usuario desea cambiar el destino. Presionara la pantalla, y se lanzaran todos los posibles destinos.	
Actores		Usuario	
Precondición		El usuario ya ha indicado un destino anteriormente.	
Secuencia		Paso	Acción
Normal		1	El usuario presionara la pantalla.
		2	El dispositivo móvil indicara todos los posibles destinos, mediante un mensaje de voz.
		3	El usuario tocara la pantalla e indicara cual es el destino deseado.
Pos-condición		Volvemos al CU0.	
Estabilidad		alta	

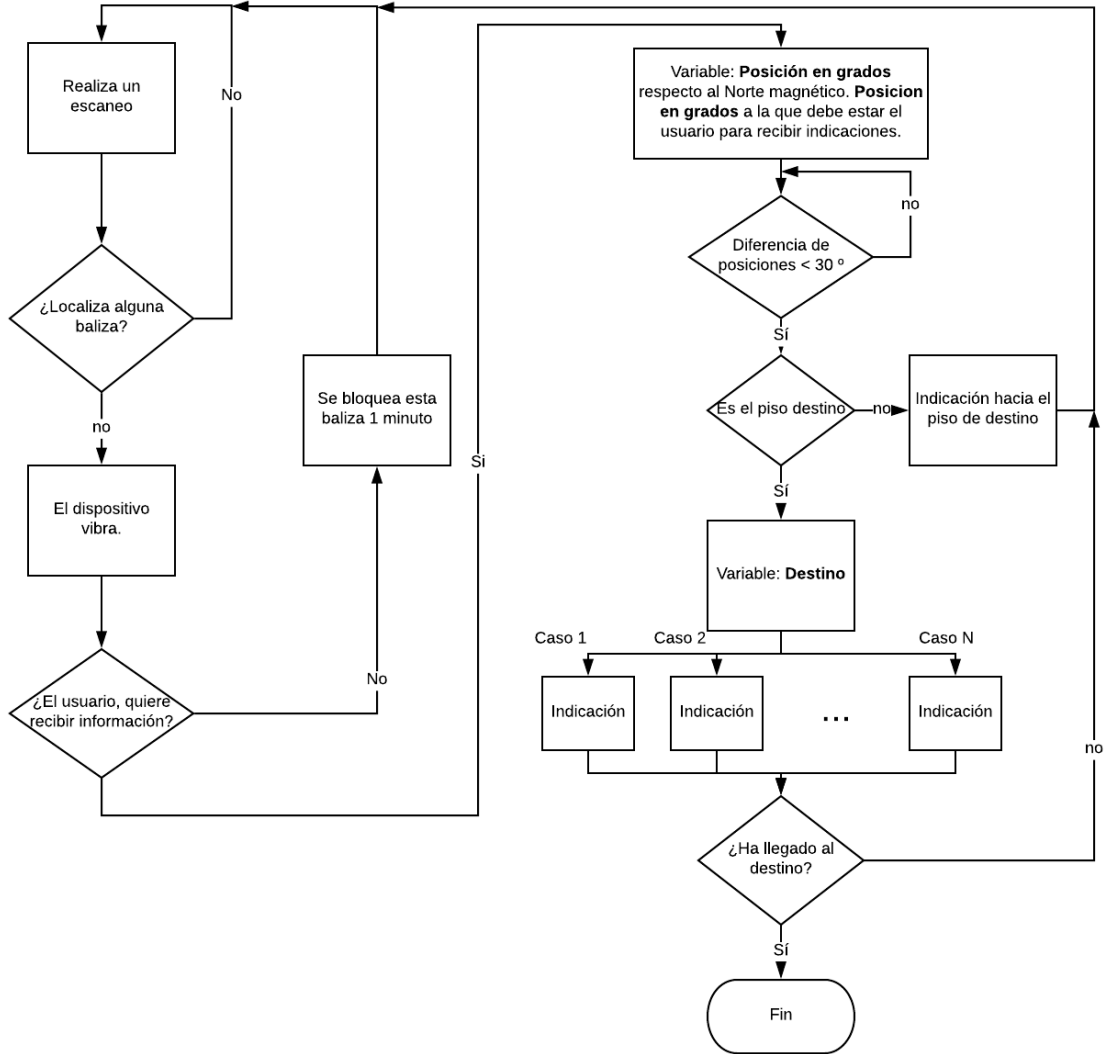
Tabla 28 - CU5-Edificio encontrado. Solución 2.

6.4.3 Lógica

Se han realizado unos diagramas de flujo para entender mejor como funcionaria la lógica del código que compondrá la aplicación.



En esta imagen se muestra cual sería el flujo que se sigue cuando la aplicación está buscando un edificio conocido.



En esta imagen se muestra cual sería el flujo que seguiría la aplicación cuando el usuario se encuentra dentro de un edificio y localizamos una baliza conocida.

6.4.4 Baliza

En el estudio de mercado realizado sobre las balizas se han analizado las diferentes *beacon* por separado y a partir de esos análisis vamos a elegir la mejor baliza para esta solución.

Para esta solución se busca una duración cercana al año. Pero en este caso la principal característica a potenciar va a ser el coste de las balizas con unas características óptimas. No se necesita un número tan elevado de balizas ya que no hace falta que estas cubran todo el espacio transitable.



Las balizas que menos coste tienen son *MRMRAKET* y *ReYeBu*. Estas balizas son de una gama inferior al resto, pero se estudiarán sus características para determinar si son adecuadas para el fin de la aplicación móvil.

El tamaño es el menor de todos los modelos y entre ambas hay diferencias de pocos milímetros. *MRMRAKET* 24.8 x 24.8 x 7.5 mm. Peso 8 g y *ReYeBu* 28 x 28 x 10 mm. Peso 11 g.

MRMRAKET tiene menor potencia de emisión pero mayor alcance, 30 metros contra los 20 metros de *ReYeBu*.

Ambas balizas utilizan una pila de botón modelo 2032 de 3V. En cuanto a la duración, *ReYeBu* puede llegar a durar 15 meses. *MRMRAKET* tiene una duración máxima de 12 meses. Cuando trabajas a máxima potencia de emisión las dos tienen una duración de 9 meses.

Ambas balizas carecen de memoria pero para esta solución no es necesaria. La aplicación se comunicará con una base de datos, no intercambiara información con la baliza. Solo recogerá los anuncios que éstas emitan. Las balizas trabajarán en modo *Advertising Data payload*, por lo que el dispositivo móvil solo tendrá que recoger estos *Advertising* y acudir a la base de datos a extraer los datos necesarios.

Para esta solución solo se necesita una baliza que emita anuncios periódicamente, lo cual hacen todas. Que tenga una duración cercana al año de vida. Y un alcance de 5 metros. Por lo tanto *MRMRAKET* y *ReYeBu* cumplen con estas características.

Las dos balizas serían válidas para el fin de la aplicación. Tienen características muy parecidas por lo que el precio será el elemento diferenciador. La que menor precio tiene es *ReYeBu* con 4,40€/unidad por lo que será la seleccionada para la solución 2.

6.4.5 Geo-Localización: Guiado por puntos.

En esta solución se irá recibiendo información según se vaya llegando a cada baliza, la información dependerá de la baliza localizada y el destino final. Esto significa que en una misma baliza podemos obtener dos indicaciones diferentes dependiendo del destino final. Si el destino se encuentra hacia la derecha la indicación nos lo hará saber, pero si en otro momento llegamos a la misma baliza y el destino ha cambiado y se encuentra a la izquierda, la indicación será diferente a la anterior.

El dispositivo móvil irá escaneando periódicamente en busca de balizas conocidas. En el momento que encuentre una se lo hará saber al

usuario mediante una vibración. El usuario decidirá si desea conocer la información que esta baliza tiene. Mediante la agitación con la mano del dispositivo móvil dará a entender que sí que quiere recibir esta información.

A continuación se explica la estructura del nombre de la baliza, la orientación correcta a la hora de recibir las indicaciones y como recibirá las indicaciones.

Nombre de la baliza:

Para esta solución no será necesario realizar una conexión dispositivo móvil-Baliza. Como ya se vio anteriormente las balizas están anunciando una serie de datos repetidamente, *Advertising Data payload*. Estos datos son: Dirección MAC, nombre de la baliza y potencia de emisión. El nombre de la baliza es una variable que se puede reconfigurar. Para esta solución el nombre de la baliza tendrá la siguiente estructura: **BX _ orientación del usuario _ Piso.**

-BX: Este será el nombre propio de la baliza a través del cual buscaremos la información a mostrar. Será único por piso en cada edificio. La combinación del nombre y el piso será siempre única en un edificio, no puede haber dos balizas con el mismo nombre en un mismo piso. La x será sustituida por un número, del 1 al número de balizas totales en el piso.

-Orientación del usuario: Será la posición, relativa a la baliza, correcta en la que se tiene que encontrar el usuario para que las indicaciones sean correctas. Más adelante se explicará con más detalle.

-Piso: Como su nombre indica será el piso en el que se encuentra la baliza ubicada. De esta manera cualquier destino que no esté en su piso tendrá el mismo tratamiento.

Orientación correcta:

Si el usuario (Agita el dispositivo móvil) quiere recibir la información, lo primero que debe hacer es colocarse correctamente respecto a la posición de la baliza. Esto se debe a que los conceptos de derecha, izquierda, delante y detrás son relativos a la posición de referencia. Se puede observar en la Figura [31] que dependiendo cual sea la orientación del usuario derecha, izquierda, delante o atrás son direcciones diferentes. Por esta razón debemos orientarlo para que las indicaciones sean correctas.

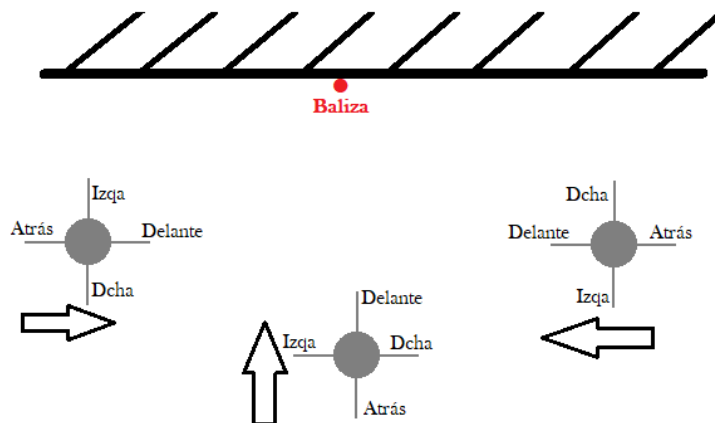


Figura 31 - Relatividad del concepto de dirección.

Fuente: Propia.

La posición correcta para recibir las indicaciones será de espaldas a la baliza. Para este fin se ha utilizado la brújula del dispositivo móvil. Cada baliza lleva en su nombre la orientación correcta para recibir las indicaciones. De tal manera que mediante la brújula el dispositivo móvil obtendrá la posición del usuario y la comparará con la orientación correcta de esa baliza. Si estas no coinciden, se pedirá al usuario que gire sobre sí mismo. En el momento que este orientado correctamente se le mandará parar y se le lanzará la indicación pertinente.

Indicaciones:

Una vez que el usuario está orientado correctamente se podrán lanzar las diferentes indicaciones oportunas.

Como ya se ha dicho las indicaciones vendrán condicionadas por el destino final y la baliza en la que se encuentre el usuario.

Cada destino llevará asociado el piso en el que se encuentra. El piso del destino y el piso de la baliza será el primer filtro por el que pasará la aplicación móvil. De tal manera que si el piso de la variable y el del destino no coinciden, la indicación será siempre la misma independientemente del piso del destino. El usuario recibirá un mensaje de voz indicándole hacia donde se debe dirigir para encontrar un ascensor y cuál es el piso en el que se encuentra su destino. Se presupone que en la actualidad los ascensores están preparados para personas con alguna discapacidad visual. Se ha creído oportuno evitar la utilización de las escaleras del edificio lo máximo posible.

Si el piso de la baliza coincide con el piso del destino se acudirá a una base de datos con el nombre de la baliza, su piso y el destino. Se realizará un

filtro con estas tres variables y se lanzara mediante un mensaje de voz la indicación pertinente.

6.4.6 Aplicación simulada

Ante la imposibilidad de llevar a la práctica (por falta de medios) se va a realizar una simulación para asemejar el comportamiento de la aplicación planteada.

El desarrollo de la aplicación se realiza con la herramienta *App Inventor* del MIT. Es una herramienta de desarrollo de software que permite la elaboración de una forma intuitiva y visual de aplicaciones destinadas al SO *Android*.

Se simulara el funcionamiento de la aplicación en la planta baja de la Escuela de Ingenierías Industriales sede Francisco Mendizábal.

Se plantea la ubicación de las balizas intentando minimizar el número de estas. Para ello hay que colocarlas en lugares donde el usuario pueda tomar varios caminos o donde tenga varios posibles destinos cerca. Es importante no espaciar demasiado las balizas. En la figura [] se puede observar esta distribución.

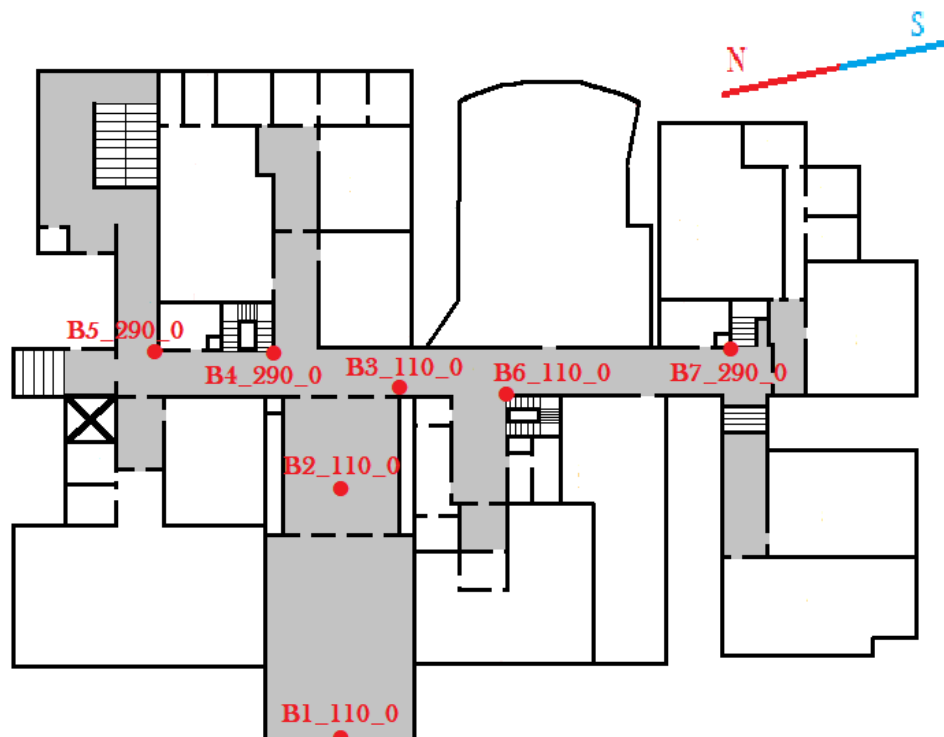


Figura 32 - Ubicación de las balizas en la solución 2.

Fuente: Propia.

En la figura [32] se observa que hay 7 balizas, con su correspondiente nombre:

-B1_110_0

-B2_110_0

-B3_110_0

-B4_290_0

-B5_290_0

-B6_110_0

-B7_110_0

La aplicación va a estar constituida por dos pantallas. Una pantalla denominada principal y una secundaria figura [33]. Como no hay balizas con las que se pueda comunicar la aplicación, se simularan con botones. Cada botón representara una baliza y cada vez que sea presionado equivaldrá a que el móvil localizase dicha baliza. El resto de funcionalidades serán iguales a como funcionaria la solución 2.



Figura 33 – Pantalla principal y secundaria de la aplicación.

Fuente: Propia.

La pantalla principal consta de dos botones. El botón superior figura [34], simula la baliza colocada en la puerta de la entrada del edificio. En este caso *B1_110_0*. El resto de la pantalla está ocupada por otro botón, figura [34], llamado guardar destino. Al presionar este botón se podrá guardar, mediante voz, el destino deseado.

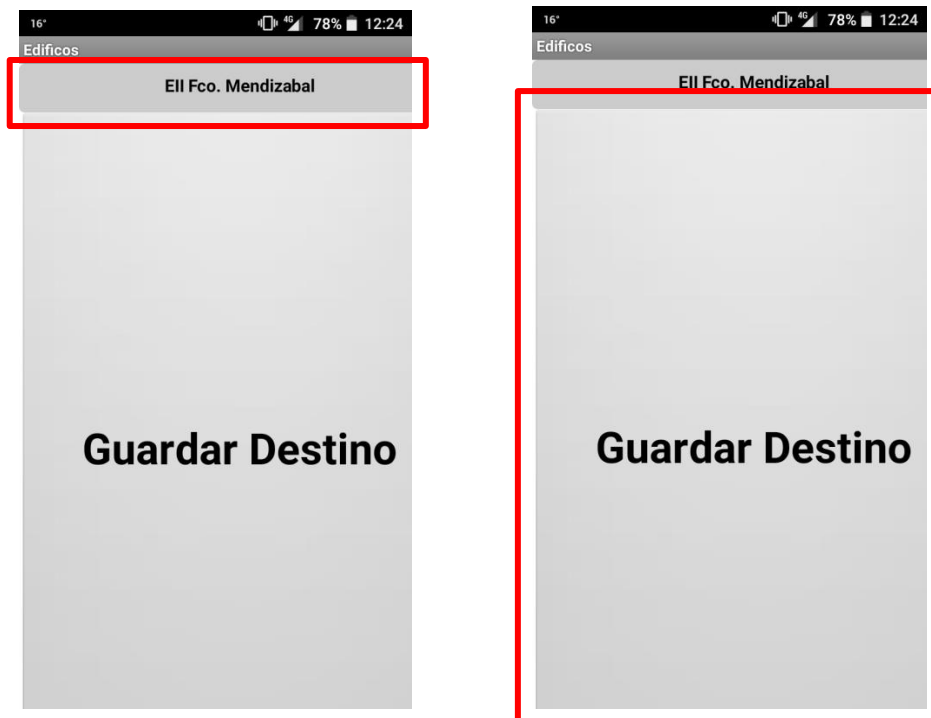


Figura 34 - Botones de la pantalla principal de la aplicación.

Fuente: Propia.

La pantalla secundaria consta de una serie de botones que simulan diferentes balizas. Cada botón tiene superpuesto el nombre de la baliza a la que representa. Están todas las balizas de la planta baja de *EII* figura [35]. El botón inferior figura [35] lleva a la pantalla principal para guardar un nuevo destino.

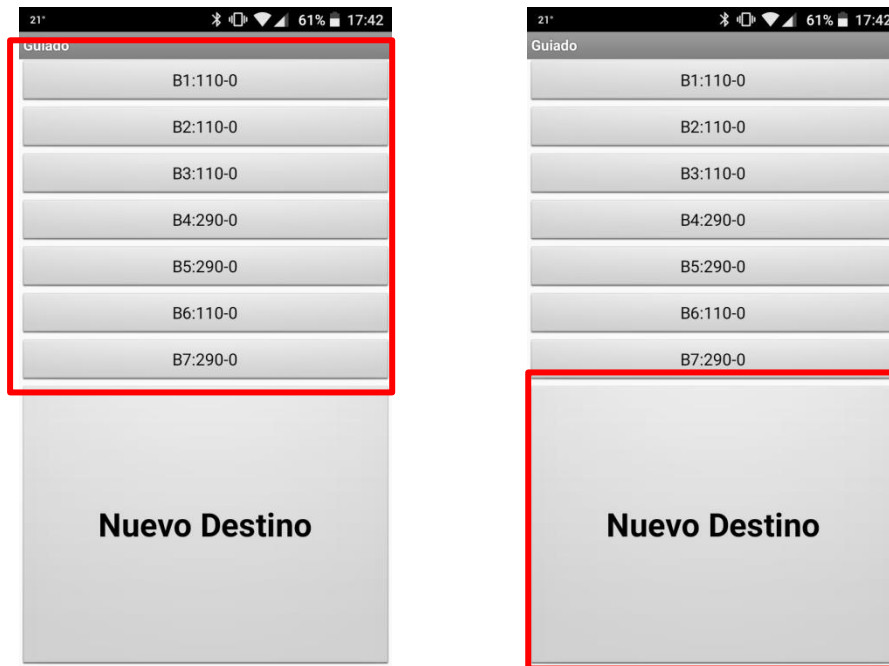


Figura 35 - Botones pantalla secundaria de la aplicación.

Fuente: Propia.

Un funcionamiento normal será el siguiente:

Al iniciar la aplicación aparece la pantalla principal. Para simular que se localiza la baliza colocada en la entrada se presiona el botón superior de la pantalla que tiene el nombre del edificio Figura [34]. El móvil vibrará indicando que se ha localizado una baliza. El usuario decidirá, mediante la agitación del dispositivo móvil, si decide recibir la información o no. Una vez se agite el móvil este mandará un mensaje de voz con el siguiente mensaje: “Gire sobre sí mismo hasta nueva indicación”. Para esta simulación se han utilizado 6 destinos posibles: Laboratorio de física, laboratorio de máquinas eléctricas, biblioteca, departamento de tecnología electrónica, cafetería y salir del edificio.

El usuario presionara el botón de guardar destino figura [34], y el dispositivo móvil se pondrá en modo escucha para guardar el destino deseado figura [36]. Una vez guardado el destino de manera satisfactoria se abrirá la pantalla secundaria figura [35].



Figura 36 - Aplicación en modo escucha.

Fuente: Propia.

En la pantalla secundaria cada vez que se presione un botón con el nombre de una baliza el dispositivo móvil vibrara. De nuevo el usuario deberá agitar el móvil para recibir la información. Una vez agitado deberá colocarse en la orientación correcta respecto a la baliza para recibir la indicación. El dispositivo móvil enviara el siguiente mensaje de voz “Gire sobre sí mismo hasta nueva indicación”. En el momento que este colocado correctamente recibirá la indicación correspondiente, dependiendo baliza presionada y destino guardado.

De esta manera se podrá simular diferentes recorridos diferentes decisiones del usuario y diferentes destinos.

A continuación se expone un ejemplo de cómo se acudiría a la base datos para recuperar las indicaciones correctas en cada momento:

Para una mejor comprensión se plantea un supuesto de utilización.

Suponiendo que el usuario se encuentra en el piso 0 de la EII sede Francisco Mendizábal y tenemos como destino el laboratorio de máquinas. El dispositivo localiza una baliza de nombre B3_110_0. El nombre indica que es la baliza 3, que se encuentra en el piso 0 y que la orientación para obtener las indicaciones correctamente son 110° respecto al norte magnético.

El móvil recogerá estos datos y acudirá con ellos a la base de datos. La primera variable que utiliza es el nombre del edificio en el que se encuentra para acudir a la tabla correcta. Seguidamente realiza un filtrado por nombre

de baliza y piso de la baliza. Se añade la variable destino al filtrado anterior y así se obtiene la indicación adecuada en ese momento. En la figura [37] en rojo se observa a que registro accederíamos con las variables anteriores. Si el destino hubiese sido el laboratorio de física se obtendría otra indicación diferente figura [37] en verde.

Edificio EII Francisco Mendizábal				
Baliza	Piso Baliza	Destino	Piso Destino	Indicacion
B1		0 Maquinas	0 ...	
B2		0 Maquinas	0 ...	
B3		0 Maquinas	0 ...	
B4		0 Maquinas	0 ...	
B5		0 Maquinas	0 ...	
B6		0 Maquinas	0 ...	
B7		0 Maquinas	0 ...	
B1		0 Fisica	0 ...	
B2		0 Fisica	0 ...	
B3		0 Fisica	0 ...	
B4		0 Fisica	0 ...	
B5		0 Fisica	0 ...	
B6		0 Fisica	0 ...	

Figura 37 – Ejemplo de utilización base de datos.

Fuente: Propia.

Simulación.

A continuación se simula la llegada de un usuario a la Escuela de Ingenierías Industriales sede Francisco Mendizábal. Se simulara la llegada del usuario y la elección de un destino. Se van a mostrar las indicaciones enviadas desde el dispositivo móvil así como el recorrido seguido por el usuario.

-Simulación de la llegada al edificio hasta alcanzar el destino deseado.

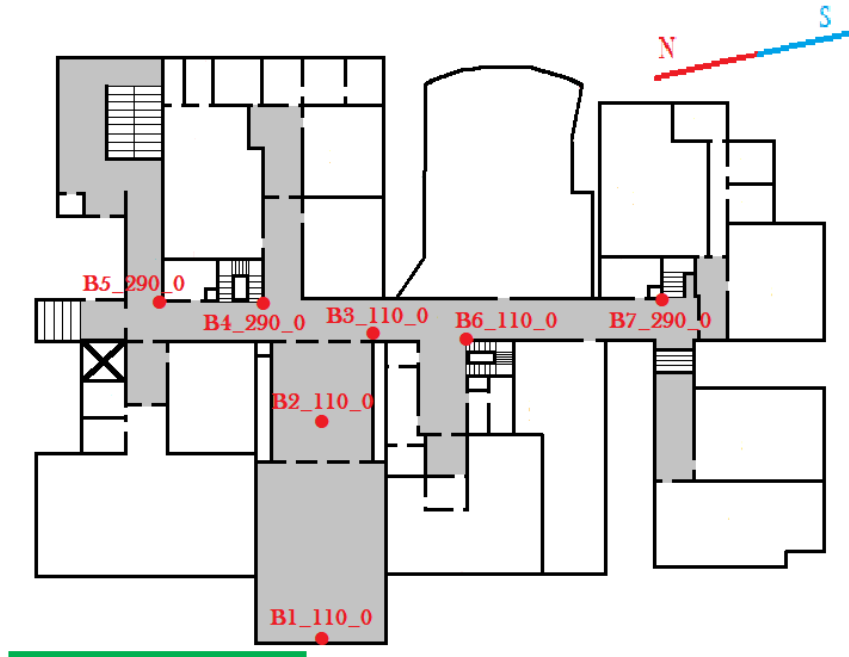


Figura 38 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación para llegar a la EII.

Fuente: Propia.

El usuario llegaría a la puerta principal de la EII y su dispositivo móvil localizaría la baliza B1_110_0 figura [38]. Se indica por mensaje de voz que se encuentra en la EII sede Francisco Mendizábal y se le leen los diferentes destinos. Se selecciona uno de ellos, y se abriría la siguiente pantalla. En este caso el usuario quiere ir a la biblioteca. La secuencia comentada se observa en la figura [39].



Figura 39 - Secuencia de guardado del destino en la aplicación.

Fuente: Propia.

El usuario caminaría hasta localizar la baliza B2_110_0 figura [35]. El dispositivo móvil vibraría. Una vez que se quiere recibir la información lo primero que la aplicación va a solicitar es que se gire sobre sí mismo hasta alcanza la orientación adecuada. Después de esto se recibe el siguiente mensaje: “Camine 15 metros hacia adelante, encontrara 3 puertas. Entre por la de su derecha y diríjase a esta misma dirección. . Le quedan 35 metros hasta su destino.”

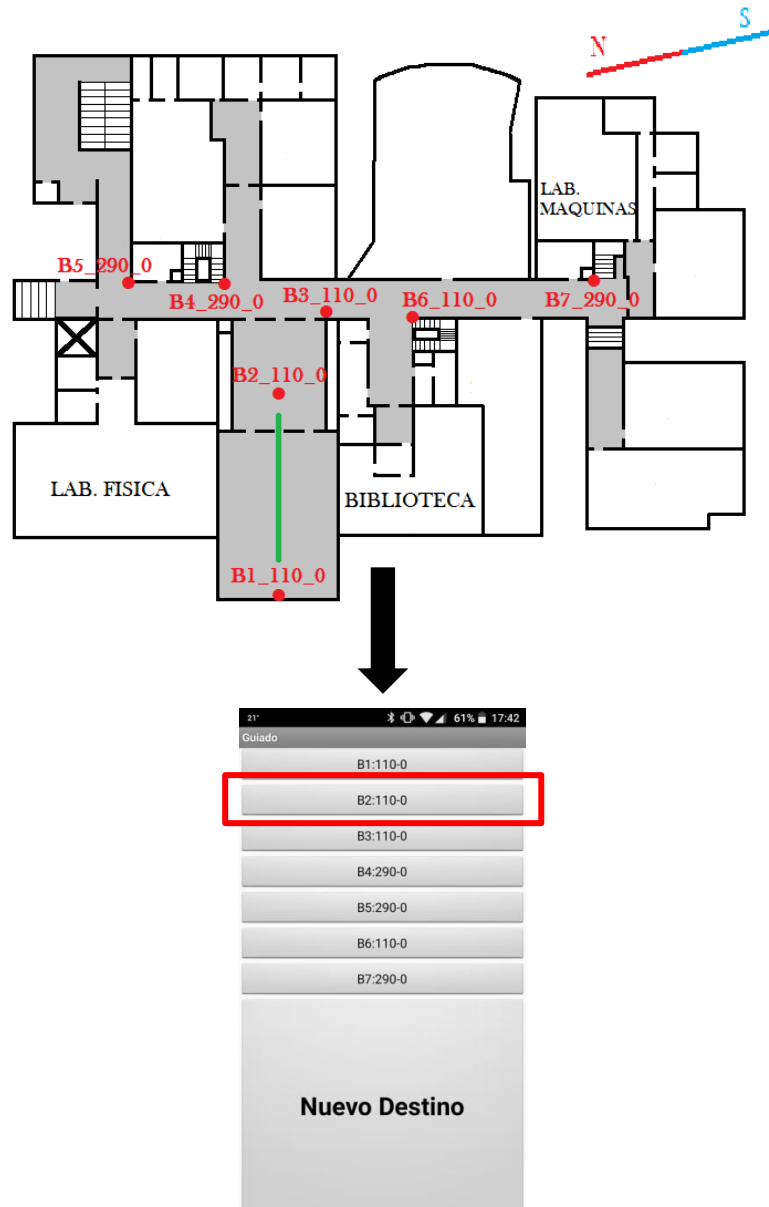


Figura 40 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 1 a la baliza 2.

Fuente: Propia.

Si el usuario realiza correctamente los movimientos indicados recorrerá el camino que se indica la figura [36]. El dispositivo móvil localiza entonces la baliza B3_110_0. Primero le pedirá que se oriente adecuadamente y después enviara un mensaje de voz con la siguiente información: “Diríjase a su Derecha. Le quedan 25 metros hasta su destino.”

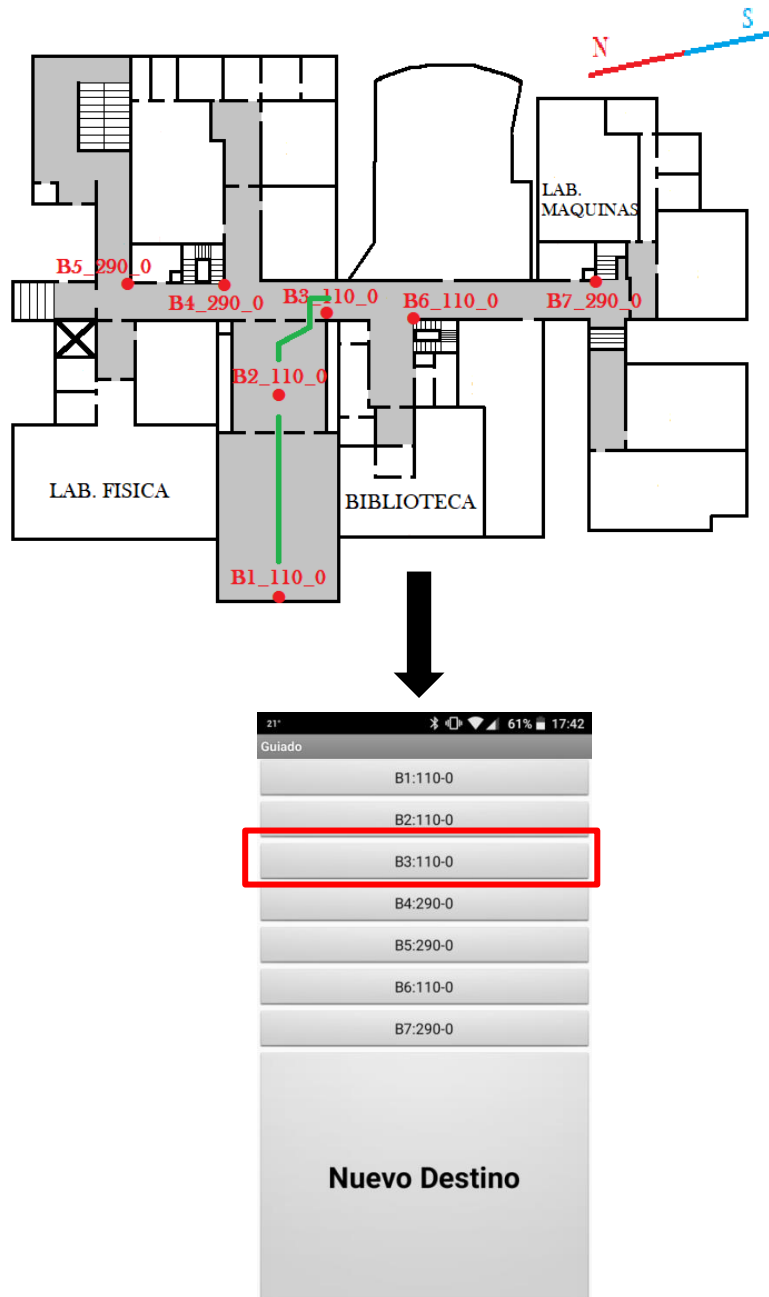


Figura 41 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 2 a la baliza 3.

Fuente: Propia.

Continuando por el camino marcado se encontrara con la baliza B6_110_0 figura [37]. Una vez este correctamente posicionado esta baliza le mandara la siguiente indicación: “Camine 10 metros hacia su espalda y encontrara una puerta. Atraviésela y a 5 metros encontrara una ventanilla donde está la biblioteca. Le quedan 15 metros hasta su destino.”

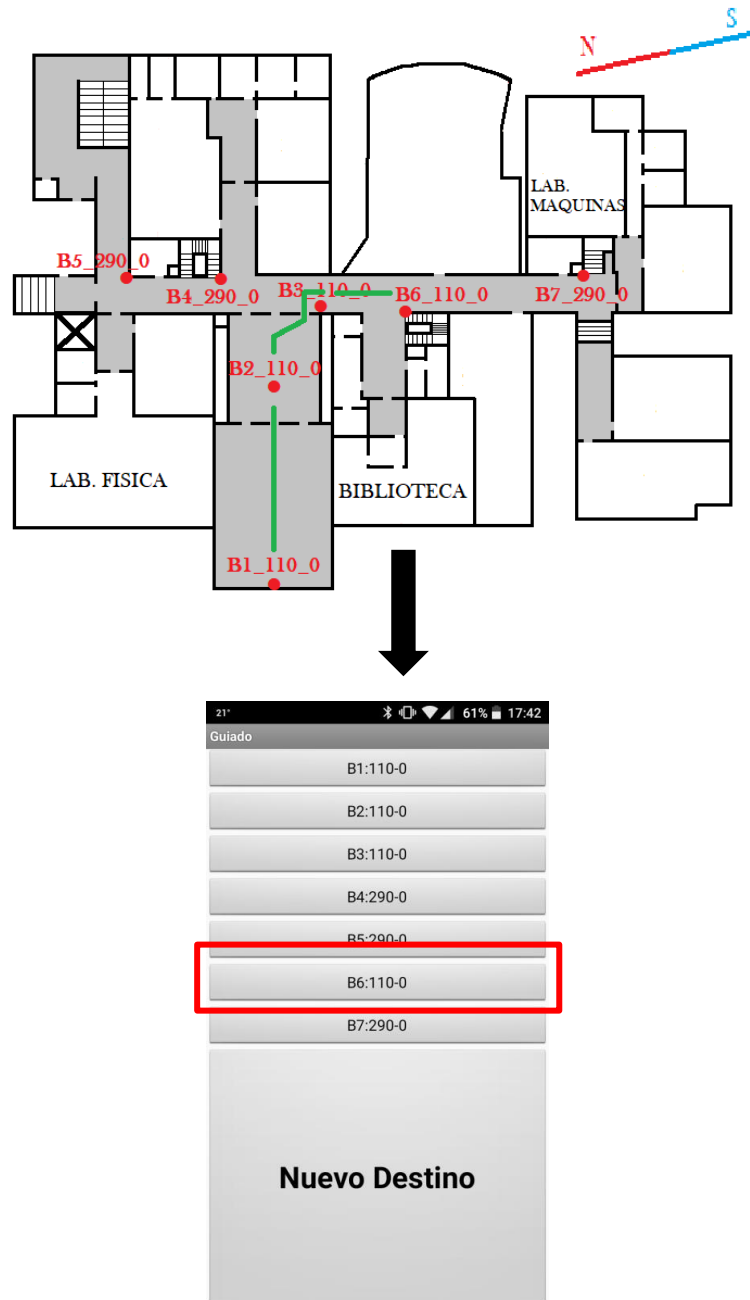


Figura 42 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 3 a la baliza 6.

Fuente: Propia.

En este punto y haciendo caso a la indicación de la baliza B6_110_0 llegara a su destino figura [38].

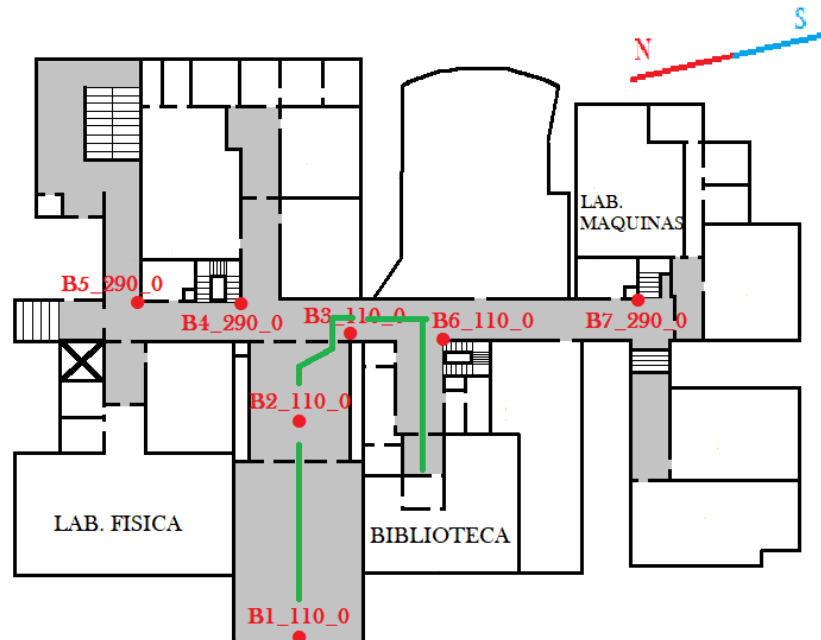


Figura 43 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la baliza 6 hasta la biblioteca.

Fuente: Propia.

-Simulación de desorientación del usuario.

Si se supone que cuando escucha la indicación de la baliza B3_110_0 “Diríjase a su Derecha. Le quedan 25 metros hasta su destino.” el usuario se desorienta y camina en la dirección contraria a la indicada figura []. Cuando alcance la baliza B4_290_0 recibiría el siguiente mensaje: “Diríjase a su Izquierda. Le quedan 35 metros hasta su destino.”.

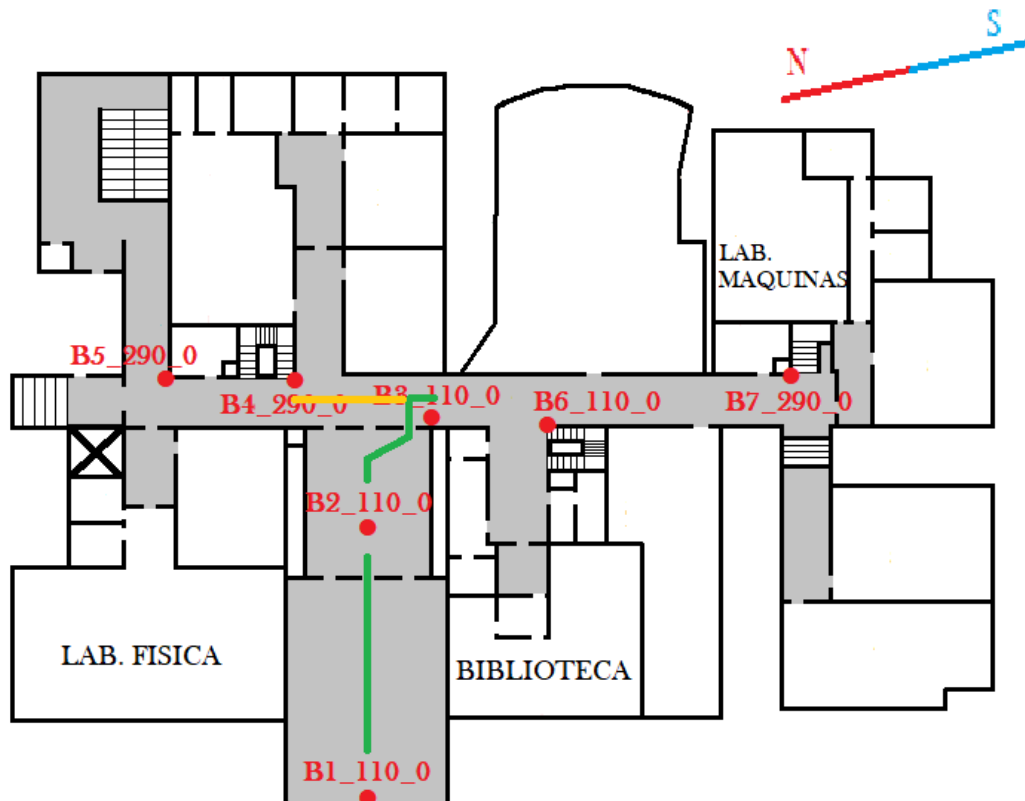


Figura 44 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación cuando se ha desorientado.

Fuente: Propia.

En este ejemplo se observa que no es un recorrido secuencial. La indicación solo depende de la baliza localizada y del destino, independientemente del recorrido realizado anteriormente. Las indicaciones siempre dirigirán al usuario a su destino, sin importar en que parte del edificio se encuentre.

-Simulación de orientación hacia un destino en una planta diferente a la del usuario.

Ahora se simulara que después de llegar a la biblioteca el usuario elige un nuevo destino, y este destino es el Departamento de Tecnologías Electrónicas que se encuentra en la segunda planta. Una vez se pulsa el botón de nuevo destino se volverán a lanzar todos los posibles destinos. El usuario pulsara en la pantalla e indicara el número de destino elegido. La secuencia se muestra en la figura [].



Figura 45 - Guardar un nuevo destino en la aplicación.

Fuente: propia.

Una vez ha elegido nuevo destino comenzara a caminar, saldrá de la biblioteca y el dispositivo móvil localizara la baliza B6_110_0 figura [41] y recibirá el siguiente mensaje: “Diríjase cuatro metros hacia su espalda, a su izquierda al pasar una escaleras encontrara un ascensor, vaya al piso 2”.

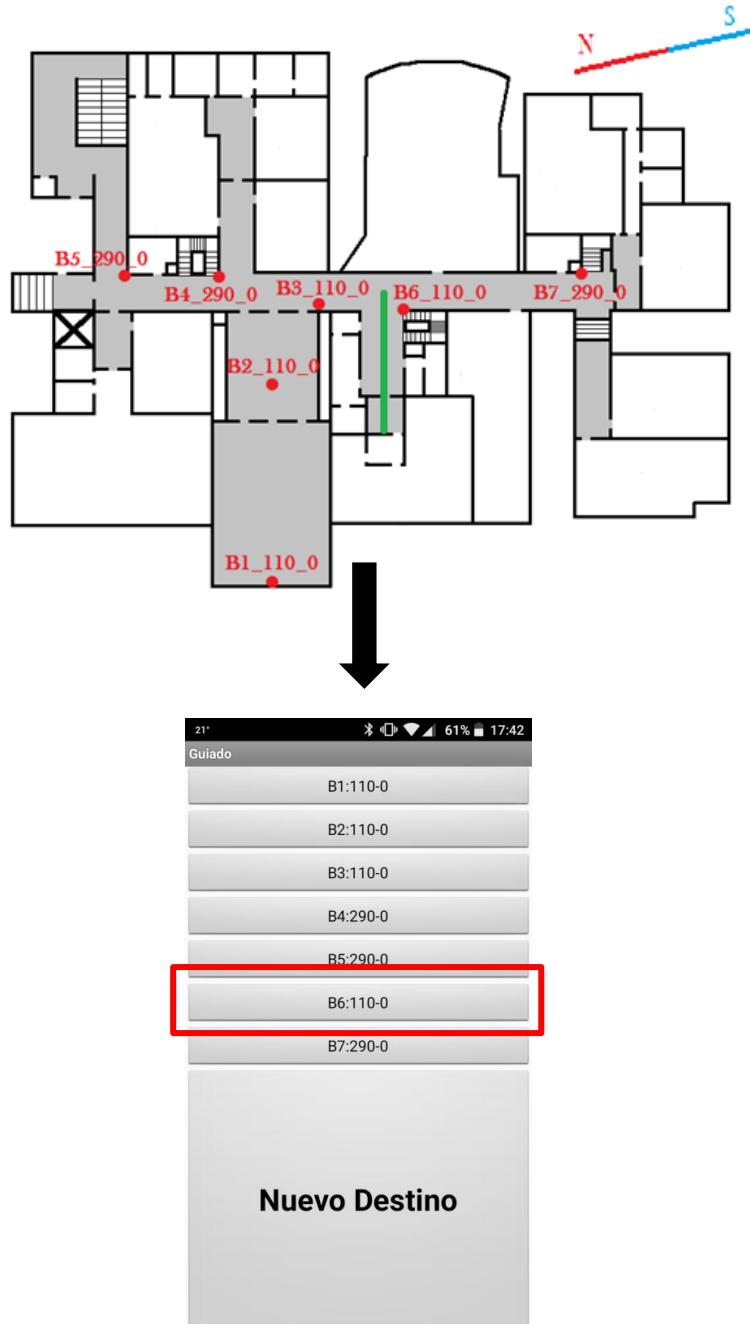


Figura 46 - Itinerario seguido por el usuario en la simulación desde la biblioteca hasta la baliza 6.

Fuente: Propia.

El usuario tomaría el ascensor y en el segundo piso se encontraría con otras balizas que le indicarían como llegar al departamento de tecnología electrónica.

De esta manera independientemente del lugar en el que se encuentre el usuario, las balizas siempre le guiaran hacia su destino final.

Se puede observar que con este número de balizas es suficiente para hacer un guiado eficiente por el interior del edificio, pero cuanto mayor sea el número de balizas, mucho mejor será la orientación del usuario.

6.5 Comparación de soluciones

Una vez que se han expuesto y estudiado las dos posibles soluciones, se va a hacer una comparativa entre ambas. Se buscará cuáles son los mejores y los peores aspectos de cada una.

Se va a observar principalmente los dos aspectos siguientes. Con qué calidad cumple la finalidad especificada cada una de las soluciones. Cuáles serían las posibilidades de llevar a la práctica la aplicación móvil.

En cuanto a la finalidad, ambas soluciones consiguen realizar el guiado de personas con una discapacidad visual parcial o total por el interior de edificios. La solución 1 consigue recrear un GPS de interiores con mucha más precisión y muchas más posibilidades que la solución 2. La segunda también consigue realizar un guiado satisfactorio por el interior de edificios. Esta solución no llega a la precisión de la primera, necesita una participación mayor por parte del usuario.

La solución 1 ofrece un guiado minucioso por el interior del edificio teniendo en cuenta en todo momento donde se encuentra el usuario, cuál es su destino y si este va por el camino correcto o no.

La solución 2 ofrece unos puntos de información que evidentemente van a ayudar al usuario a guiarse y localizar su objetivo dentro del edificio. Pero entrará en juego la pericia y la capacidad de orientación del usuario. Estos puntos de información siempre le guiarán hacia su destino independientemente del punto de información en el que se encuentre.

En cuanto a finalidad de la aplicación la solución 1 la alcanza con una mayor precisión y con una mayor calidad que la solución 2. Aunque la solución 2 también resuelve de una manera notable el guiado por interiores de personas con discapacidad visual parcial o total.

En cuanto a la probabilidad de poder llevar a cabo este proyecto de una manera real, la solución 2 es más factible que la solución 1.



La solución 2 utiliza un número mucho más reducido de balizas que la solución 1 y además estas balizas que utiliza son más baratas. El coste del proyecto si se llevara a cabo la solución 1 sería demasiado alto. En este trabajo de fin de grado se ha abordado un estudio de lo que sería una instalación en una planta de un edificio. Si se quiere que todos los edificios de la Universidad de Valladolid estén dotados con esta aplicación habría que multiplicar los gastos por edificios y por plantas de edificios. Por lo que la solución 2 es más factible de llevar a cabo que la solución 1.

Comparando el coste que supondrían las balizas de la planta baja del edificio EII sede Francisco Mendizábal:

$$16,25 \text{ €} \times 29 \text{ ud} = 471,25 \text{ € Solución 1}$$

$$4,40 \text{ €} \times 7 \text{ ud} = 30,8 \text{ € Solución 2}$$

En cada planta de cada edificio ira un numero diferente de balizas pero siempre será mucho mayor en la solución 1. Por esta razón la solución 2 es más realizable que la solución 1, aunque las dos se podrían llevar implementar.

7. Conclusiones

Actualmente la tecnología *BLE* y aún más las balizas se encuentran en una fase de desarrollo. Esto nos lleva a tener muchas limitaciones y no poder hacer con ellas todo lo que nos gustaría. Pero es una tecnología que ya está asentada y se podría decir que sobre unos buenos cimientos.

Hemos visto que es una tecnología que está creciendo a un gran ritmo en los últimos años y ya sabemos que cuando hablamos de tecnología el crecimiento es exponencial. Las balizas tienen un potencial enorme debido a su el bajo consumo de energía. La primera conclusión que podemos sacar de todo el estudio realizado es que el bajo consumo que se suponía se cumple. Con una única pila de botón podemos mantener funcionando una baliza por meses incluso años. Otro punto a su favor es su facilidad de enlace. El viejo Bluetooth era demasiado tedioso para aplicaciones en las que solo se necesitaba una conexión de pocos segundos.

Estas dos características son las principales y aunque la más llamativa es el bajo consumo, para mí, la gran conclusión de este trabajo es que podemos interconectar prácticamente cualquier tipo de dispositivo electrónico poniéndolos cerca. Evidentemente se necesita el software adecuado. Pero las posibilidades que nos brinda esta característica son ilimitadas, hasta donde la imaginación llegue.

Creo que con estas dos grandes características puestas sobre la mesa esta tecnología tiene mucho recorrido. De los desarrolladores y de su imaginación dependerá el recorrido de esta tecnología.

En cuanto al posicionamiento en interiores se podría decir que ya está aquí y se va a quedar. La gran desventaja que se le puede atribuir es que no es todo lo preciso que debiera. Este aspecto será crucial dependiendo la finalidad de la aplicación. Si la aplicación es como la planteada en el trabajo la precisión que hoy en día existe es más que suficiente, porque dentro de un edificio dos baldosas a la izquierda o dos baldosas a la derecha o recibir la información un metro antes o después no cambian mucho la situación. Pero para otro tipo de aplicación sí que nos encontraríamos con problemas debidos a esta imprecisión.

En cuanto a líneas de trabajo futuro, esta tecnología está todavía en vías de desarrollo y creo que tiene mucho futuro.

En un futuro se podría implementar aplicaciones como está pero de carácter general, de la misma manera que el actual GPS. Que todos los edificios estuvieran equipados para que las personas con algún tipo de



discapacidad visual pudieran guiarse sin problemas con la simple ayuda de una aplicación.

Como gran desventaja que se ha encontrado es su alto coste. En una aplicación que no necesite de muchas balizas no se hará notorio, pero como hemos comprobado en la solución 1, está ha quedado descartada por los elevados costes que supondría llevarla a cabo. Un trabajo a realizar sería bajar el coste de las balizas sin que las características de estas se vean muy afectadas.



8. Bibliografía

[1] Bluetooth low energy. 2018. argenox.com (Web). Último acceso: 11/12/2017

<http://www.argenox.com/bluetooth-low-energy-ble-v4-0-development/library/a-ble-advertising-primer/>

[2] Bluetooth. 2018. culturasonora.es (Web). Último acceso: 15/12/2017

<https://www.culturasonora.es/blog/tipos-de-bluetooth-y-diferencias/>

[3] Gps. 2018. gps.gov (Web). Último acceso: 18/12/2017

<https://www.gps.gov/spanish.php>

[4] Bluetooth low energy. 2018. solidgargroup.com (Web). Último acceso: 28/12/2017

<https://solidgargroup.com/bluetooth-ble-el-conocido-desconocido?lang=es>

[5] bluetooth. 2017. bluetooth.com (Web). Último acceso: 28/12/2017

<https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology>

[6] NFC. 2017. computerhoy.com (Web). Último acceso: 03/01/2018

<https://computerhoy.com/noticias/life/que-es-nfc-movil-para-que-sirve-como-funciona-24207>

[7] Zigbee. 2017. slideshare.net (Web). Último acceso: 03/01/2018

<https://es.slideshare.net/allyspd/a6-48433197>

[8] NFC. 2017. wikipedia.org (Web). Último acceso: 03/01/2018

https://es.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication

[9] Zigbee. 2017. tutorial-reports.com (Web). Último acceso: 08/01/2018

<http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-characterstics.php>

[10] Sistema operativo movil. 2017. gcfaprendelibre.org (Web). Último acceso: 11/01/2018



https://www.gcfaprendelibre.org/tecnologia/curso/informatica_basica/sistemas_operativos/5.do

[11] Protocolo. 2017. glowlabs.co (Web). Último acceso: 30/01/2017

<http://glowlabs.co/wireless-protocols/>

[12] Iot. 2017. iotsimple.com (Web). Último acceso: 30/01/2018

<http://www.iotsimple.com/que-es-iot/>

[13] Iot. 2017. bebee.com (Web). Último acceso: 30/01/2018

<https://www.beebe.com/producer/@http-alfredo-j-feijoo-webnode-es-contacto/dispositivos-iot-la-red-de-las-cosas-protocolos-de-comunicacion>

[14] Beacon. 2017. aislelabs.com (Web). Último acceso: 09/02/2018

<https://www.aislelabs.com/reports/beacon-guide/>

[15] Ibeacon. 2017. aislelabs.com (Web). Último acceso: 09/02/2018

<https://www.aislelabs.com/reports/ibeacon-battery-drain-iphones/>

[16] Ibeacon. 2017. aislelabs.com (Web). Último acceso: 09/02/2018

<https://www.aislelabs.com/reports/ibeacon-battery-phones/>

[17] Protocolo Eddystone. 2017. github.com (Web). Último acceso: 06/02/2018

<https://github.com/google/eddystone/blob/master/protocol-specification.md>

[18] Protocolo Eddystone. 2017. github.com (Web). Último acceso: 06/02/2018

<https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-uid>

[19] Protocolo Eddystone. 2017. github.com (Web). Último acceso: 06/02/2018

<https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-url>

[20] Protocolo Eddystone. 2017. github.com (Web). Último acceso: 06/02/2018

<https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-tlm>



[21] Protocolo Eddystone. 2017. github.com (Web). Último acceso: 06/02/2018

<https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-eid>

[22] Catastro. 2017. sedecatastro.gob.es (Web). Último acceso: 02/03/2018

[https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapaC.aspx?pest=urbana&from=OVCBusqueda&RCCompleta=&via=FRANCISCO%20MENDIZABAL&tipoVia=CL&numero=&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=VALLADOLID&prov=47&muni=900&DescMuni=VALLADOLID&TipUR=U&codvia=1314&comVia=FRANCISCO%20MENDIZABAL%20\(CALLE\)&tc=U&del=47&mun=900](https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapaC.aspx?pest=urbana&from=OVCBusqueda&RCCompleta=&via=FRANCISCO%20MENDIZABAL&tipoVia=CL&numero=&kilometro=&bloque=&escalera=&planta=&puerta=&DescProv=VALLADOLID&prov=47&muni=900&DescMuni=VALLADOLID&TipUR=U&codvia=1314&comVia=FRANCISCO%20MENDIZABAL%20(CALLE)&tc=U&del=47&mun=900)

[23] Aplicación Beacon. 2017. actualidadiphone.com (Web). Último acceso: 02/02/2018

<https://www.actualidadiphone.com/la-aplicacion-behere-utiliza-ibeacons-para-controlar-la-asistencia-clase-de-los-estudiantes/>

[24] Aplicación Beacon. 2017. usingbeacons.com (Web). Último acceso: 02/02/2018

<http://www.usingbeacons.com/devolver-a-rubens-a-la-vida-usando-beacons/>

[25] Aplicación Beacon. 2017. plataformaurbana.cl (Web). Último acceso: 03/02/2018

<http://www.plataformaurbana.cl/archive/2015/03/25/wayfindr-una-audioguia-para-los-pasajeros-no-videntes-del-metro-de-londres/>

[26] Aplicación Beacon. 2017. efefuturo.com (Web). Último acceso: 03/02/2018

<http://www.efefuturo.com/noticia/empresa-espanola-sistema-localizacion-interiores/>

[27] Trilateración, Mauricio Gende e Ivana Molina. 2011. Último acceso: 21/02/2018

[28] Sistema de Posicionamiento Basado en Bluetooth con Calibrado Dinámico. Javier Rodas, Tiago M. Fernández, Daniel I. Iglesia, Carlos J. Escudero. Dpto. de Electrónica y Sistemas. Universidad de La Coruña. Último acceso: 21/02/2018



[29] Beacon. 2017. labs.beeva.com (Web). Último acceso: 13/02/2018

<https://labs.beeva.com/posición-y-contexto-con-beacons-15e662cfacf2>

[30] Estimote. 2017. community.estimote.com (Web). Último acceso: 13/02/2018

<https://community.estimote.com/hc/en-us/articles/204092986-Technical-specification-of-Estimote-Beacons-and-Stickers>

[31] Venu-iq. 2017. venu-iq.com (Web). Último acceso: 15/02/2018

<http://venu-iq.com/product/card-beacon/>

[32] Venu-iq. 2017. venu-iq.com (Web). Último acceso: 15/02/2018

<http://venu-iq.com/product/tough-beacon/>

[33] Pila. 2017. cetronic.es (Web). Último acceso: 18/02/2018

<http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/ResultadoBusquedaProductos.jsp?idIdioma=&idTienda=93&pala brasClave=pila+AA>

[34] Pila. 2017. rs-online.es (Web). Último acceso: 18/02/2018

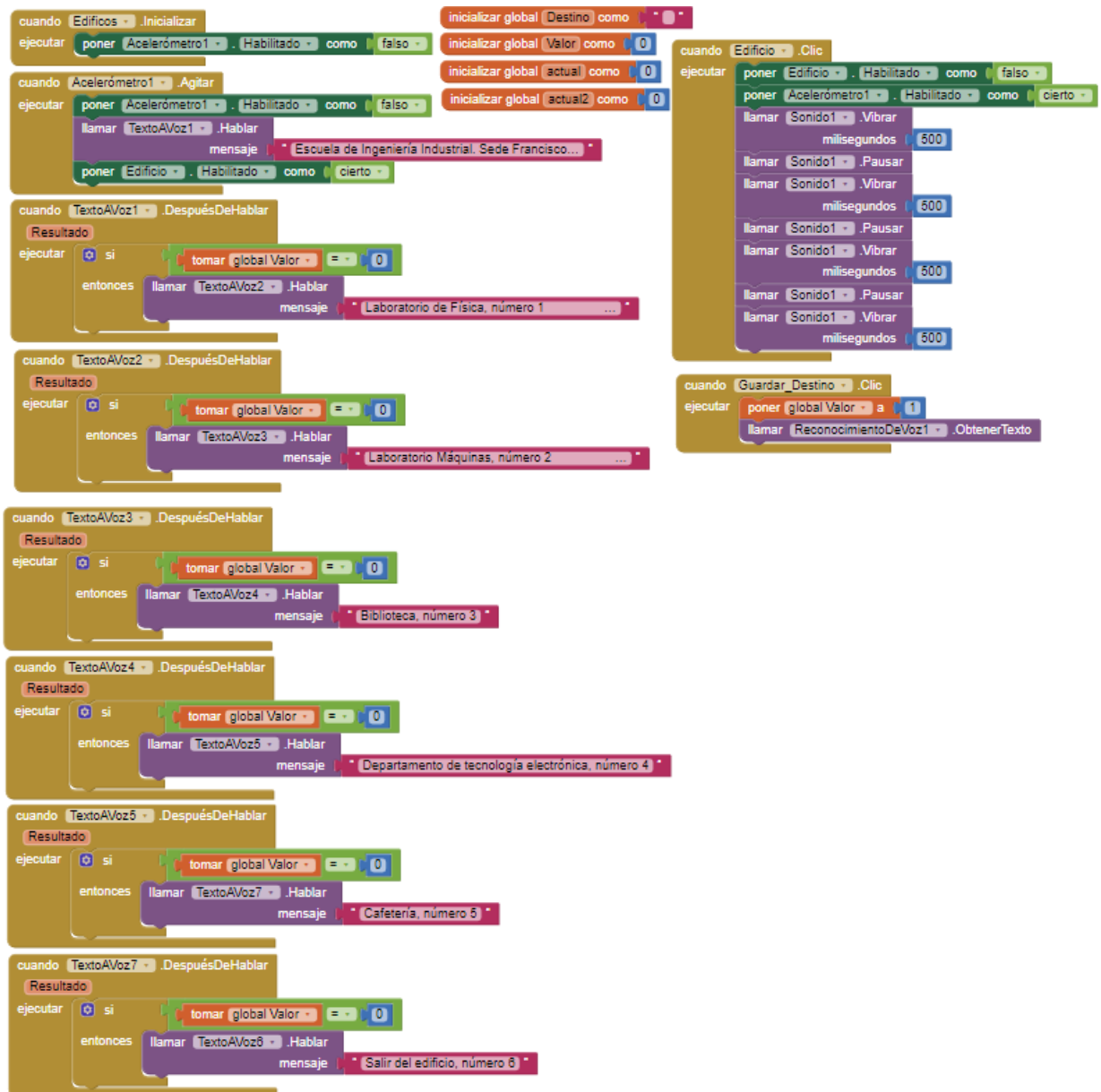
<https://es.rs-online.com/web/p/pilas-aa/1966692/>



Anejos

Código aplicación:

Pantalla principal




```
cuando ReconocimientoDeVoz1 .DespuésDeObtenerTexto
  Resultado
  ejecutar poner Guardar_Destino . Texto como tomar Resultado
  si 1 = tomar Resultado
  entonces
    poner global Destino a Física
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Destino
      valorAGuardar tomar global Destino
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Piso
      valorAGuardar 0
    abrir otra pantalla Nombre de la pantalla Screen1
  si no, si 2 = tomar Resultado
  entonces
    poner global Destino a Maquinas
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Destino
      valorAGuardar tomar global Destino
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Piso
      valorAGuardar 0
    abrir otra pantalla Nombre de la pantalla Screen1
  si no, si 3 = tomar Resultado
  entonces
    poner global Destino a Biblioteca
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Destino
      valorAGuardar tomar global Destino
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Piso
      valorAGuardar 0
    abrir otra pantalla Nombre de la pantalla Screen1
  si no, si cuatro = tomar Resultado 0 4 = tomar Resultado
  entonces
    poner Resultado a 4
    poner global Destino a Electronica
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Destino
      valorAGuardar tomar global Destino
    llamar TinyBD1 .GuardarValor
      etiqueta Piso
      valorAGuardar 2
    abrir otra pantalla Nombre de la pantalla Screen1
```

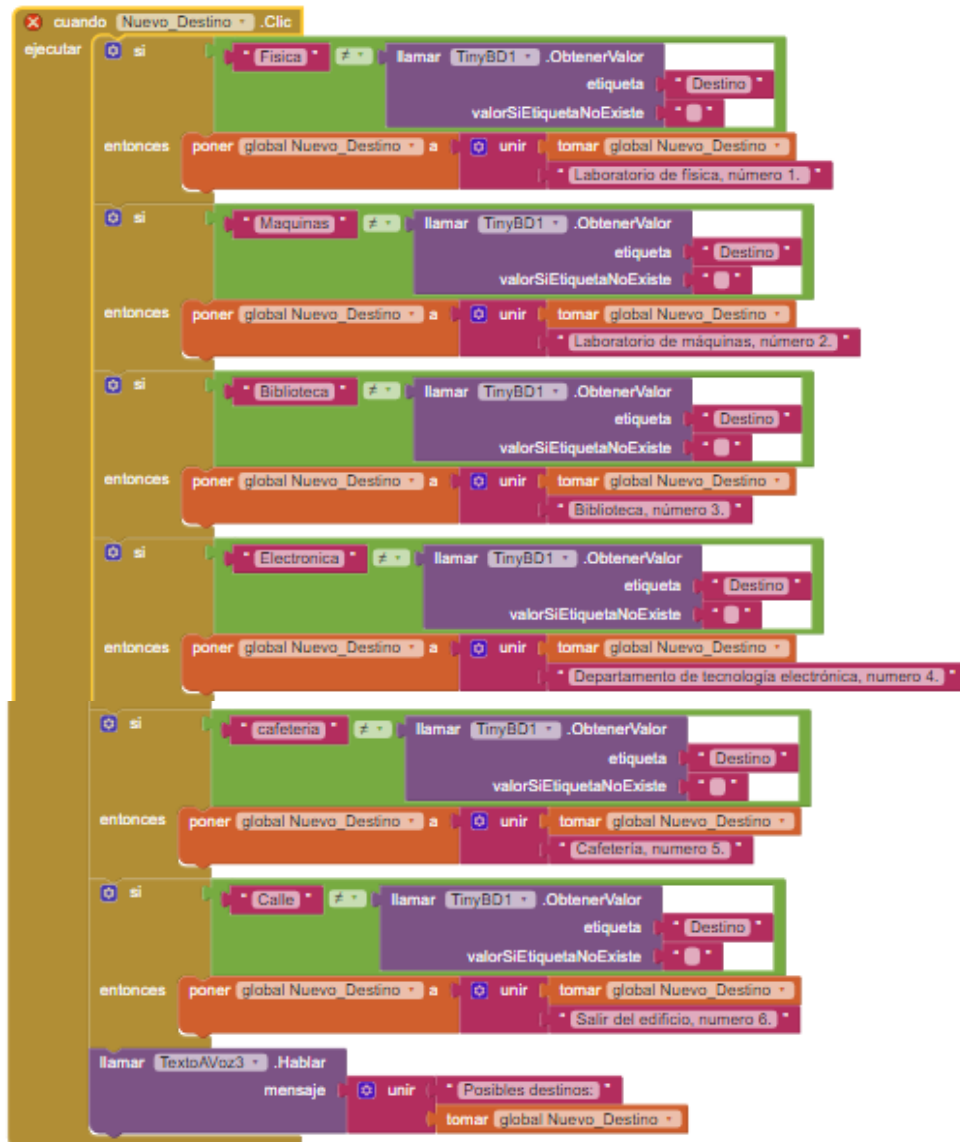
```
si no, si
  6 = tomar Resultado
entonces
  poner global Destino a Calle
  llamar TinyBD1 .GuardarValor
    etiqueta Destino
    valorAGuardar tomar global Destino
  llamar TinyBD1 .GuardarValor
    etiqueta Piso
    valorAGuardar 0
  abrir otra pantalla Nombre de la pantalla Screen1
si no, si
  6 = tomar Resultado
entonces
  poner global Destino a cafeteria
  llamar TinyBD1 .GuardarValor
    etiqueta Destino
    valorAGuardar tomar global Destino
  llamar TinyBD1 .GuardarValor
    etiqueta Piso
    valorAGuardar -1
  abrir otra pantalla Nombre de la pantalla Screen1
sino
  poner global Valor a 0
  llamar TextoAVoz6 .Hablar
    mensaje Pulse y repita por favor
```

Pantalla secundaria:

```
cuando Screen1 .Inicializar
  ejecutar
    poner Acelerometro1 .Habilitado como falso
    poner Reloj1 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj2 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj3 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj4 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj5 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj6 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj7 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj9 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj10 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj8 .TemporizadorHabilitado como falso
    poner Reloj8 .IntervaloDelTemporizador como 500
    poner SensorDeOrientación1 .Habilitado como falso

cuando TextoAVoz3 .DespuésDeHablar
  ejecutar
    abrir otra pantalla Nombre de la pantalla Edificios

    inicializar global Nuevo_Destino como 0
    inicializar global Bandera_1 como 0
    inicializar global Destino como 0
    inicializar global x_octavos como 0
    inicializar global Grados_Usuario como 0
    inicializar global Dif_Posicion como 0
    inicializar global Piso como 0
    inicializar global Grados_Baliza como 0
    inicializar global Baliza como 0
```



```
cuando Acelerómetro1 .Agitar
ejecutar
  poner Acelerómetro1 . Habilitado como falso
  llamar TextoAVoz2 . Hablar
  mensaje Gire sobre sí mismo lentamente hasta nueva indic...
  poner Reloj8 . TemporizadorHabilitado como cierto

cuando Reloj8 . Temporizador
ejecutar
  poner global Grados_Usuario a SensorDeOrientación1 . Acimut
  poner global Dif_Posicion a valor absoluto tomar global Grados_Usuario tomar global Grados_Baliza
  Llamar Colocar

como Colocar
ejecutar
  si tomar global Dif_Posicion > 30
  entonces
  sino
    poner Reloj8 . TemporizadorHabilitado como falso
    si
      tomar global Baliza == B1 y tomar global Piso == 0
    entonces
      poner Reloj1 . TemporizadorHabilitado como cierto
    si no, si
      tomar global Baliza == B2 y tomar global Piso == 0
    entonces
      poner Reloj2 . TemporizadorHabilitado como cierto
    si no, si
      tomar global Baliza == B3 y tomar global Piso == 0
    entonces
      poner Reloj3 . TemporizadorHabilitado como cierto
    si no, si
      tomar global Baliza == B4 y tomar global Piso == 0
    entonces
      poner Reloj4 . TemporizadorHabilitado como cierto
    si no, si
      tomar global Baliza == B5 y tomar global Piso == 0
    entonces
      poner Reloj5 . TemporizadorHabilitado como cierto
    si no, si
      tomar global Baliza == B6 y tomar global Piso == 0
    entonces
      poner Reloj6 . TemporizadorHabilitado como cierto
    si no, si
      tomar global Baliza == B7 y tomar global Piso == 0
    entonces
      poner Reloj7 . TemporizadorHabilitado como cierto

cuando B1:110:0 . Clic
ejecutar
  poner SensorDeOrientación . Habilitado como cierto
  llamar Sonido1 . Vibrar
  milisegundos 2000
  poner global Grados_Baliza a 110
  poner global Piso a 0
  poner global Baliza a B1
  poner global Grados_Usuario a SensorDeOrientación1 . Acimut
  poner Acelerómetro1 . Habilitado como cierto

cuando Reloj10 . Temporizador
ejecutar
  poner Reloj1 . TemporizadorHabilitado como falso
  si
    tomar global Piso == 1 llamar TinyGD1 . ObtieneValor
    etiqueta Destino valorSiEtiquetaNoExiste
  entonces
    llamar TextoAVoz2 . Hablar
    mensaje unir Esta colocado correctamente, atienda a las indic...
    Camine 20 metros. Encontrará 3 puertas, entre po...
  sino
    si
      llamar TinyGD1 . ObtieneValor
      etiqueta Destino valorSiEtiquetaNoExiste
    entonces
      llamar TextoAVoz2 . Hablar
      mensaje unir Esta colocado correctamente, atienda a las indic...
      Camine 20 metros. Encontrará 3 puertas entre por...
    si no, si
      llamar TinyGD1 . ObtieneValor
      etiqueta Destino valorSiEtiquetaNoExiste
    entonces
      llamar TextoAVoz2 . Hablar
      mensaje unir Esta colocado correctamente, atienda a las indic...
      Camine 20 metros. Encontrará 3 puertas entre por...
    si no, si
      llamar TinyGD1 . ObtieneValor
      etiqueta Destino valorSiEtiquetaNoExiste
    entonces
      llamar TextoAVoz2 . Hablar
      mensaje unir Esta colocada correctamente, atienda a las indic...
      A su espalda encontrará tres puertas, salga por
```

```
cuando B2_110 0 -> Clic
ejecutar
  poner SensorDeOrientación1 -> Habilitado -> como -> cierto ->
  llamar Sonido1 -> Vibrar
  milisegundos 2000
  poner Global Grados Baliza -> a -> 110
  poner Global Piso -> a -> 0
  poner Global Baliza -> a -> B2
  poner Global Grados Usuario -> a -> SensorDeOrientación1 -> Acimut ->
  poner Acelerometro1 -> Habilitado -> como -> cierto ->
```

```
cuando B3_110 0 -> Clic
ejecutar
  poner SensorDeOrientación1 -> Habilitado -> como -> cierto ->
  llamar Sonido1 -> Vibrar
  milisegundos 2000
  poner Global Grados Baliza -> a -> 110
  poner Global Piso -> a -> 0
  poner Global Baliza -> a -> B3
  poner Global Grados Usuario -> a -> SensorDeOrientación1 -> Acimut ->
  poner Acelerometro1 -> Habilitado -> como -> cierto ->
```

```
cuando B4_290 0 -> Clic
ejecutar
  poner SensorDeOrientación1 -> Habilitado -> como -> cierto ->
  llamar Sonido1 -> Vibrar
  milisegundos 2000
  poner Global Grados Baliza -> a -> 290
  poner Global Baliza -> a -> B4
  poner Global Grados Usuario -> a -> SensorDeOrientación1 -> Acimut ->
  poner Acelerometro1 -> Habilitado -> como -> cierto ->
```

```
cuando Relo2 -> Temporizador
ejecutar
  poner Relo2 -> TemporizadorHabilitado -> como -> falso ->
  si
    llamar Global Piso -> f -> llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta -> Piso ->
    valorSIEtiquetaNoExiste ->
  entonces
    llamar TextoAVoz2 -> Hablar
    mensaje -> unir -> Camine hacia adelante. Encontrará 3 puertas entr. ->
  sino
    si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Camine 15 metros hacia adelante. Encontrará 3 pu. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Camine 15 metros hacia adelante. Encontrará 3 pu. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Camine hacia adelante. Encontrará 3 puertas entr. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Dos metros a su espalda encontrará tres puertas.
```

```
cuando Relo3 -> Temporizador
ejecutar
  poner Relo3 -> TemporizadorHabilitado -> como -> falso ->
  si
    llamar Global Piso -> f -> llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta -> Piso ->
    valorSIEtiquetaNoExiste ->
  entonces
    llamar TextoAVoz2 -> Hablar
    mensaje -> unir -> Dirijase a su izquierda. Para llegar en ascensor. ->
    llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta -> Piso ->
    valorSIEtiquetaNoExiste ->
  sino
    si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Dirijase a su Derecha. Le quedan 50 metros. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Dirijase a su izquierda. Le quedan 40 metros. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Hacia su espalda encontrará tres puertas, atravi.
```

```
cuando Relo4 -> Temporizador
ejecutar
  poner Relo4 -> TemporizadorHabilitado -> como -> falso ->
  si
    llamar Global Piso -> f -> llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta -> Piso ->
    valorSIEtiquetaNoExiste ->
  entonces
    llamar TextoAVoz2 -> Hablar
    mensaje -> unir -> Camine 4 metros hacia su derecha y a mano derecha. ->
    llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta -> Piso ->
    valorSIEtiquetaNoExiste ->
  sino
    si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Dirijase a su izquierda. Le quedan 55 metros. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Dirijase a su izquierda. Le quedan 35 metros. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Dirijase a su Derecha. Le quedan 30 metros. ->
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta -> Destino ->
      valorSIEtiquetaNoExiste ->
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje -> Camine 2 metros a su izquierda, y a su derecha a.
```



```

cuando BS_290_0 -> Clic
ejecutar
  poner SensorDeOrientación1 -> Habilitado -> como | cierto ->
  llamar Sonido1 -> Vibrar
  poner global Grados Baliza -> a | 290
  poner global Piso -> a | 0
  poner global Baliza -> a | E3
  poner global Grados Usuario -> a | SensorDeOrientación1 -> Acimut ->
  poner Acelerómetro1 -> Habilitado -> como | cierto ->

```

```

cuando BS_110_0 -> Clic
ejecutar
  poner SensorDeOrientación1 -> Habilitado -> como | cierto ->
  llamar Sonido1 -> Vibrar
  poner global Grados Baliza -> a | 110
  poner global Piso -> a | 0
  poner global Baliza -> a | E3
  poner global Grados Usuario -> a | SensorDeOrientación1 -> Acimut ->
  poner Acelerómetro1 -> Habilitado -> como | cierto ->

```

```

cuando Reloj5 -> Temporizador
ejecutar
  poner Reloj5 -> TemporizadorHabilitado -> como | falso ->
  si
    tomar global Piso -> z ->
    llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta
    valorSiEtiquetaNoExiste
  entonces
    llamar TextoAVoz2 -> Hablar
    mensaje
    unir
    Camino 4 metros hacia su izquierda y a mano izquierda
    llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta
    valorSiEtiquetaNoExiste
  sino
    si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Maquinas
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Dirijase a su izquierda. Le quedan 70 metros
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Biblioteca
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Dirijase a su izquierda. Le quedan 50 metros
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Fisica
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Camine hacia adelante atravesé la puerta, y 5 m
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Calle
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Dirijase a su izquierda. Le quedan 45 metros

```

```

cuando Reloj6 -> Temporizador
ejecutar
  poner Reloj6 -> TemporizadorHabilitado -> como | falso ->
  si
    tomar global Piso -> z ->
    llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta
    valorSiEtiquetaNoExiste
  entonces
    llamar TextoAVoz2 -> Hablar
    mensaje
    unir
    Camino 4 metros hacia su espalda y a mano izquierda
    llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
    etiqueta
    valorSiEtiquetaNoExiste
  sino
    si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Maquinas
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Dirijase hacia su derecha. Le quedan 25 metros
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Biblioteca
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Camine 10 metros hacia su espalda y encontrará u
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Fisica
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Dirijase hacia su izquierda. Le quedan 35 metros
    si no, si
      llamar TinyBD1 -> ObtenerValor
      etiqueta
      valorSiEtiquetaNoExiste
      Calle
    entonces
      llamar TextoAVoz2 -> Hablar
      mensaje
      Dirijase hacia su izquierda. Le quedan 45 metros

```

