



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



TRABAJO FIN DE GRADO

RECREACIÓN SONORA DEL PAISAJE HISTÓRICO EN UN YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO

Titulación: Grado en Ingeniería en Tecnologías de la
Telecomunicación

Autor: Pedro Daniel Muñoz Díaz

Tutores: Juan Manuel Caballero Suárez

Nicolás Molina Padrón

Fecha: Julio de 2019



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



TRABAJO FIN DE GRADO

RECREACIÓN SONORA DEL PAISAJE HISTÓRICO EN UN YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO

HOJA DE EVALUACIÓN

Calificación: _____

Presidente

Secretario

Vocal

Fdo.: _____ Fdo.: _____ Fdo.: _____

Fecha: Julio de 2019

Agradecimientos

A mi familia, por el apoyo incondicional que me han brindado durante esta larga etapa académica.

A mis tutores, por haberme transmitido los conocimientos necesarios para la elaboración de este Trabajo Fin de Grado.

Índice general

I. Memoria	1
1. Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivos	7
1.3. Estructura de la memoria	9
2. Fundamentos del paisaje sonoro	11
2.1. Introducción	11
2.2. Fundamentos del paisaje sonoro	12
2.2.1. El paisaje sonoro de R. Murray Schafer	12
2.2.2. Norma-ISO 12913-1:2014 - paisaje sonoro	13
2.3. Propuesta del episodio histórico para su recreación	20
2.4. Aplicación en patrimonio histórico	25
3. Diseño del prototipo	29

3.1. Unidad de procesamiento	29
3.1.1. Introducción	29
3.1.2. Características hardware	30
3.1.3. Características software	32
3.1.4. Configuración y programación del dispositivo	35
3.2. Sensor PIR	37
3.2.1. Introducción	37
3.2.2. Fundamentos físicos del sensor PIR	37
3.2.3. Configuración e integración del sensor PIR	40
3.3. Altavoz	41
3.3.1. Introducción	41
3.3.2. Características técnicas	42
3.3.3. Respuesta en frecuencia y directividad	42
3.4. Implementación del algoritmo	44
3.4.1. Introducción	44
3.4.2. Diseño del algoritmo	44
4. Recreación del paisaje sonoro histórico	49
4.1. Introducción	49
4.2. Estructura de la narrativa	50

4.2.1. Sucesos sonoros del ataque de Van der Does	50
4.2.2. Guión de sonido	51
4.3. Sistema de ambientación sonora	54
4.3.1. Mimetismo	56
4.4. Realización de la producción	59
4.4.1. Grabación de las voces	60
4.4.2. Edición de las pistas de audio	62
4.4.3. Proceso de mezcla	65
4.4.4. Masterización de la mezcla	72
5. Montaje y resultados	77
5.1. Introducción	77
5.2. Caracterización del altavoz. Respuesta en frecuencia y directividad . . .	78
5.3. Medidas de valoración sobre la recreación sonora en el museo	81
6. Conclusiones	83
6.1. Resultados y revisión de objetivos	83
6.2. Líneas futuras	84
II Presupuesto	93
Presupuesto	95

P.1. Introducción	95
P.2. Costes materiales	95
P.2.1. Materiales hardware	96
P.2.2. Materiales software	97
P.2.3. Otros conceptos de gastos materiales	97
P.3. Amortización del inmovilizado material	98
P.4. Trabajo tarifado por tiempo empleado	100
P.5. Aplicación de impuestos y coste total	101
 III Anexos	 103
 A. Firmware de control del prototipo	 105

Índice de figuras

1.1. Vista de la becerria del Barranco Mortero (Teruel). Foto de Carlos García Benito	4
1.2. Instalación del prototipo en el recinto	5
1.3. Casa National Trust Tyntesfield	6
1.4. Estadística de visitas al Parque Arqueológico Cueva Pintada de Gáldar	7
1.5. Diagrama de bloques del prototipo	8
1.6. Mapa de la ubicación del Museo de la Ciudad y del Mar Castillo de Mata	9
2.1. La envolvente y la vida biológica del sonido	14
2.2. Elementos en la construcción perceptible del paisaje sonoro	16
2.3. Grabado realista que demuestra como los holandeses entraron en la isla de Gran Canaria. De Bry (1599)	22
2.4. Grabado de la artillería llevada por los holandeses para combatir a las milicias (Por Luis Collado, 1592)	24
2.5. Ciudad de las Palmas de Gran Canaria. Pedro Agustín del Castillo.1686	26
2.6. Evolución de la Casa Mata desde 1890 hasta la actualidad	27

3.1. Descripción de pines de la RPi 3B	33
3.2. Comprobación de asignación de IP estática	36
3.3. Comprobación de configuración de la red	36
3.4. Circuito sensor PIR	39
3.5. Gráfico del tiempo de detección	39
3.6. Ángulo de detección del sensor	40
3.7. Esquema de conexionado RPi y sensor PIR	41
3.8. Ajuste de sensibilidad y tiempo de detección	41
3.9. Características del altavoz Ultimate Ears Wonderboom	43
3.10. Respuesta en frecuencia y directividad del altavoz	43
3.11. Diagrama de flujo	45
4.1. Foto del Museo Castillo de Mata	55
4.2. Puntos estratégicos de la Casa Mata	56
4.3. Implantación del prototipo en la Casa Mata	58
4.4. Laboratorio del estudio de grabación	60
4.5. Esquema de conexionado de los equipos de grabación	61
4.6. Grabación de las voces	62
4.7. Edición de las pistas de audio	63
4.8. Aplicación de efectos por auxiliares	64

4.9. Direccionamiento a un subgrupo	66
4.10. Distribución de las pistas de audio	68
4.11. Parámetros de ecualización del grupo campanas	69
4.12. Parámetros de ecualización de refuerzo de voz y pronunciación de sílabas	69
4.13. Parámetros de compresión de las voces	70
4.14. Parámetros de ecualización y compresión de cañones	71
4.15. Parámetros de ecualización del llanto de mujer y bebé	71
4.16. Ecualización de la mezcla	73
4.17. Ecualización dinámica de la mezcla	74
4.18. Proceso de maximización de la mezcla	74
4.19. Control del balance tonal de la mezcla	76
5.1. Montaje del altavoz en estudio para las medidas de caracterización	79
5.2. Representación de respuesta en frecuencia y directividad a distintas di- recciones	81

Índice de tablas

4.1. Guión de sonido	52
4.2. Tabla comparativa entre sonidos reales y creativos	53
4.3. Tabla de subgrupos	66
P.1. Costes de materiales <i>hardware</i> fungibles	96
P.2. Costes de materiales <i>hardware</i> no fungibles	96
P.3. Costes de materiales <i>software</i>	97
P.4. Otros gastos materiales	98
P.5. Costes del amortizado material	99
P.6. Costes salariales por trabajo realizado	101
P.7. Costes totales de proyecto	101

Resumen

En los últimos años, el incremento del turismo cultural ha evolucionado hacia una nueva forma de adquirir un conocimiento histórico, como son las visitas guiadas a museos y recintos arqueológicos, permitiendo adaptar las visitas museísticas para la recreación de acontecimientos históricos. Por tanto, como consecuencia del turismo cultural y las investigaciones realizadas en materia de *Arqueocústica*, se evidencia la necesidad de dar una nueva dimensión para la recreación de paisaje sonoros en recintos arqueológicos.

Existe la normativa ISO 12913-1:2014 sobre paisajes sonoros que regula la aplicación del paisaje sonoro entre las diferentes doctrinas que lo emplean. Esta norma proporciona las herramientas conceptuales sobre este ámbito, y abarca una gran temática sobre el entorno acústico para los seres humanos, que usan sus experiencias para distinguir los paisajes sonoros, según el contexto donde se sumergen

Para atender a esta necesidad, se desarrolla un prototipo de reproducción de audios para la recreación de paisajes sonoros mediante la detección de personas en un recinto arqueológico, como es el Museo Castillo de Mata. Para ello, se mimetiza en el museo un prototipo que se basa en un computador de bajo coste Raspberry Pi y un sensor de movimiento. Cuando el prototipo capta la presencia de una persona, se reproduce una pista de audio, previamente diseñada, a través de una conexión Bluetooth entre el computador de bajo coste y un altavoz inalámbrico. Esta pista de audio representa la creación de una banda sonora para recrear, con rigor histórico, el paisaje sonoro del ataque del capitán Van der Does a la isla de Gran Canaria, incluyendo los eventos más significativos que influyeron en la formación del relato histórico.

Este trabajo pretende mejorar la calidad de la visita museística para los visitantes, asignándole una experiencia sonora más atractiva e interesante a la visita y la adquisición de conocimientos históricos. Además, se tiene en cuenta la valoración personal de los visitantes para mejorar la ambientación acústica.

Durante este estudio, se han llevado a cabo diversas pruebas para comprobar la viabilidad del prototipo y su capacidad para adaptarse a todo de tipo de recintos y ámbitos culturales. Por este motivo, el prototipo está sujeto a mejoras para plantear futuros estudios que permitan su optimización. De esta manera, sería posible trascender hacia el turismo cultural con un prototipo más avanzado.

Palabras clave: Arqueoacústica, Ambientación sonora, Paisaje sonoro, Prototipo.

Abstract

In the last years, the increase of cultural tourism has evolved in a new way to acquire a historical knowledge, such as the museum guided tours and archaeological places, allowing to adapt museum tours for the recreation of historical events. Therefore, as a consequence of the cultural tourism and research carried out in *Archaeoacoustics*, the need to create a new dimension for the recreation of soundscapes in archaeological places is shown.

There is a regulation named ISO 12913-1:2014 about soundscapes that regulates the application of the soundscape among different doctrines that use it. This regulation provides conceptual tools in this field, and contains several topics about the acoustic environment for the human beings, who use their experiences to distinguish the soundscapes, depending of the context where they are immersed.

To attend this need, an audio reproduction prototype is developed to broadcast soundscapes through the movement detection in a archeological place, such as the Castillo de Mata museum. For this purpose, a prototype based on Raspberry Pi low-cost computer and motion sensors is mimicked in the museum. When a human presence is detected, an audio track previously designed is played using a Bluetooth connection between the low-cost computer and a wireless speaker. This audio track represents a soundtrack to recreate, with historical stringency, the attack of Van der Does captain to Gran Canaria island, including the most important events which affected to the creation of the historical tale.

This study pretends to improve the quality of the museum tour for the visitors, and assigns a new sound experience to make more attractive and interesting the visit

and the acquisition of historical knowledges. Moreover, the personal assessment of the visitors is took into account to improve the acoustic ambience.

During this study, some test were carried out to verify the prototype viability and its capacity to be adapted to all kind of cultural places and fields. For this reason, the prototype is subjected to improvements to pose future works that allow its optimization. Thus, the trascendence to cutural tourism could be possible with a more advanced prototype.

Keywords: Archaeoacoustics, Soundscape, Prototype, Sound ambience.

Acrónimos

Siglas	Descripción
AAC	Advanced Audio Coding
AD2P	Advanced Audio Distribution Profile
ARM	Advanced RISC Machine
BCM	Body Control Module
BOULPGC	Boletín Oficial de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
CD	Compact Disc
CPU	Central Processing Unit
CSI	Camera Serial Interface
DAW	Digital Audio Workstation
DNS	Domain Name System
DSI	Display Serial Interface
EITE	Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones y Electrónica
GND	Ground
GNU	GNU's Not Unix
GPIO	General Purpose Input/Output
GPU	Graphics Processing Unit
GR	Gain Reduction
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGIC	Impuesto General Indirecto Canario
IP	Internet Protocol

IoT	Internet of Things
LCD	Liquid Crystal Display
LE	Low Energy
LPDDR2	Low-Power Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory
MAC	Media Access Control
NOOBS	New Out of the Box Software
OSMC	Open Source Media Center
PIR	Passive Infrared Pyroelectric
PWM	Pulse Width Modulation
PWR	Power
RISC OS	Reduced Instruction Set Computer Operatin System
RPi	Raspberry Pi
SD	Secure Digital
SOC	System on chip
SPI	Serial Peripheral Interface
SSH	Secure Shell
TFG	Trabajo Fin de Grado
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UE	Ultimate Ears
ULPGC	Universidad de las Palmas de Gran Canaria
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USB	Universal Serial Bus
VCC	Common Collector Voltage

Parte I

Memoria

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

Debido a la intensificación de los estudios llevados a cabo por numerosos historiadores acerca de los ataques de piratería en la isla de Gran Canaria, junto con el interés turística y de la población canaria por las visitas museísticas, y con la finalidad de relacionar las materias de Acústica e Historia, se ha visto la necesidad de la elaboración de este trabajo. Actualmente, los estudios realizados en numerosos recintos arqueológicos (yacimientos, museos, centros de interpretación...) en España han dado paso a nuevas disciplinas en el campo de la arqueología, como son la *arqueología virtual* [1] y la *arqueoacústica* [2], cuya importancia ha sido relevante para la investigación y difusión del patrimonio histórico.

Por un lado, la arqueología virtual, que se desarrolla desde 2008, es definida por la Sociedad Española de Arqueología Virtual como “*la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico*” [3], que establece una serie de principios para la aplicación global de esta disciplina sobre los patrimonios arqueológicos. Por otra parte, la arqueoacústica, una disciplina derivada de la *arqueología musical* [4], es la ciencia que determina la relación entre el arte cultural prehistórico y la acústica de los lugares donde ocurrieron los eventos, y así poder recrear el paisaje sonoro del pasado. Las primeras investigaciones importantes que se llevaron a cabo sobre el campo de la arqueoacústica datan de la década de los 80, y han derivado en otras disciplinas de la arqueología musical como la Arqueo-organología [5], que ha sido desarrollada en estos últimos años en espacios naturales de la Península Ibérica (figura 1.1).



Figura 1.1: Vista de la becerrra del Barranco Mortero (Teruel). Foto de Carlos García Benito

Por otro lado, se ha puesto de manifiesto la investigación sobre el ambiente sonoro, comúnmente denominado *paisaje sonoro*, para analizar la interacción del ser humano con el sonido y el contexto donde se percibe. El concepto de paisaje sonoro, definido por Murray Schafer en 1969, describe la percepción del sonido como un elemento de comunicación entre el ser humano y el entorno urbano, donde la experiencia subjetiva aporta especial relevancia para comprender el significado que tienen los sonidos para las personas [6]. Además, permite conocer las valoraciones personales mediante reacciones positivas o negativas que experimenta el sujeto por el sonido percibido en un determinado entorno [7]. En este trabajo, la importancia del paisaje sonoro radica en que es un elemento que permite dar un valor añadido, o una nueva dimensión, a la experiencia de los visitantes en museos, que consiste en la ambientación sonora de un recinto arqueológico mediante la reproducción de *paisajes sonoros* recreados a partir del estudio del pasado.

Desde el punto de vista técnico, y en relación a los conceptos que surgen a raíz del desarrollo del término de paisaje sonoro, se ha llevado a cabo una estandarización de este concepto mediante la norma *ISO 12913-1:2014 - paisaje sonoro* [8], elaborada en 2014 para regular y consensuar el término en las diferentes doctrinas que lo emplean. Esta norma consta de dos partes: la primera parte trata todos los conceptos fundamentales (ambiente sonoro, fuentes sonoras, sensación auditiva...) para el desarrollo del paisaje sonoro y su definición, y la segunda proporciona la metodología para la recopilación de datos mediante los que se puede obtener información relevante para

caracterizar subjetiva y objetivamente el paisaje sonoro [9].

Es importante señalar que la idea de este Trabajo Fin de Grado está plasmada en estudios realizados por especialistas en audio sobre patrimonios culturales de todo el ámbito europeo, quienes intentan crear una experiencia de sonido envolvente multizona para representar un paisaje sonoro. Un ejemplo de ello es el que se aprecia en la figura 1.2, donde se ilustra la distribución de un prototipo electroacústico implantado en el Salón de la casa National Trust Tyntesfield en el suroeste de Inglaterra [10], en la que se distribuyen cuatro altavoces repartidos en la sala conectados al reproductor de audio, permitiendo reproducir 5 pistas a través de 4 canales (4 pistas individuales y una pista de fondo que se reproduce en cada altavoz). El modo de reproducción del sistema se puede configurar para reproducción en bucle o activarse mediante detección de presencia por medio de un sensor infrarrojo. En cuanto al contenido sonoro, está compuesto por numerosas pistas individuales, cuyo número va a depender de la cantidad de zonas que se deseen recrear. Por tanto, esta propuesta incluye una pista de fondo que es la que crea el sonido ambiente del salón, mientras que cada una de las cuatro pistas repartidas en las diferentes zonas del salón deben funcionar en conjunto para crear el efecto de sonido envolvente.

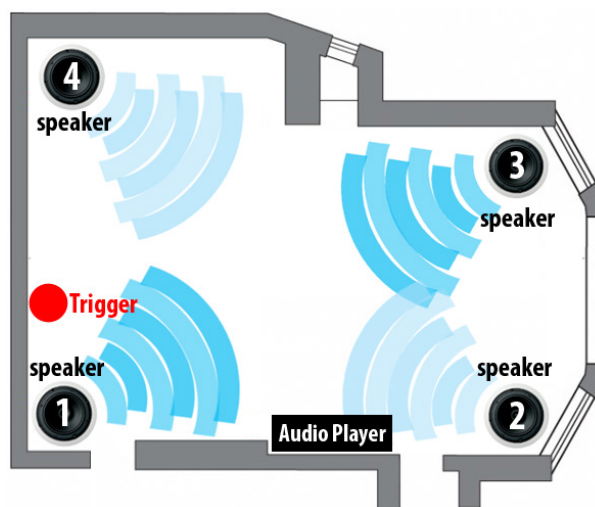


Figura 1.2: Instalación del prototipo en el recinto

En la figura 1.3 se ilustra el lugar descrito anteriormente para su implantación, donde se sugiere distribuir 4 altavoces en espacios mimetizados de un amplio salón, y permiten reproducir el audio envolvente compuesto por el sonido ambiente y sonidos de conversaciones. Además, se ha propuesto la instalación del prototipo en el Castillo de Caerpilly en Gales, donde se han instalado 4 altavoces a lo largo de una alta muralla que, en su día, se utilizaba para la defensa del castillo, activándose a través de sensores PIR a medida que los visitantes entran en el área y, posteriormente, reproduciéndose.



Figura 1.3: Casa National Trust Tyntesfield

Por otra parte, cabe mencionar que el turismo en Gran Canaria ha aumentado significativamente en los últimos años, lo que se traduce no sólo en el turismo clásico de playas, sino que también se ha experimentado un ligero incremento en el turismo cultural. Para comprobar este hecho, se ha tenido en cuenta un estudio llevado a cabo por la Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico y Cultural del Cabildo de Gran Canaria de 2018, que analiza estadísticamente las visitas realizadas en el recinto Parque Arqueológico Cueva Pintada de Gáldar con respecto a ese año [11]. Además, este estudio permite obtener datos concretos sobre el perfil del visitante que asiste al recinto arqueológico. En la figura 1.4 se representa gráficamente este estudio, analizando primeramente que las visitas en este recinto han aumentado un 4,25 % más con respecto al año 2017, siendo principalmente visitado por usuarios generales (turistas nacionales, turistas extranjeros, residentes...) y centros educativos. Posteriormente, se observa que la procedencia de las visitas viene tanto de residentes y turistas nacionales (54,24 %) como de turistas extranjeros (45,76 %), de los cuales los que más visitan son personas con edades comprendidas entre 30-65 años. Por último, se destaca que la procedencia de los turistas extranjeros proviene intensamente de países como Austria y Alemania (31,93 %).

Cabe señalar un hecho histórico reciente, y es que el pasado 7 de julio de 2019, el Comité del Patrimonio Mundial de la Unesco ha declarado Patrimonio de la Humanidad el Paisaje Cultural de Risco Caído y las Montañas Sagradas de Gran Canaria [12], un yacimiento arqueológico prehispánico altamente visitado por los turistas, y a partir de ahora será un destino turístico de mayor peso.

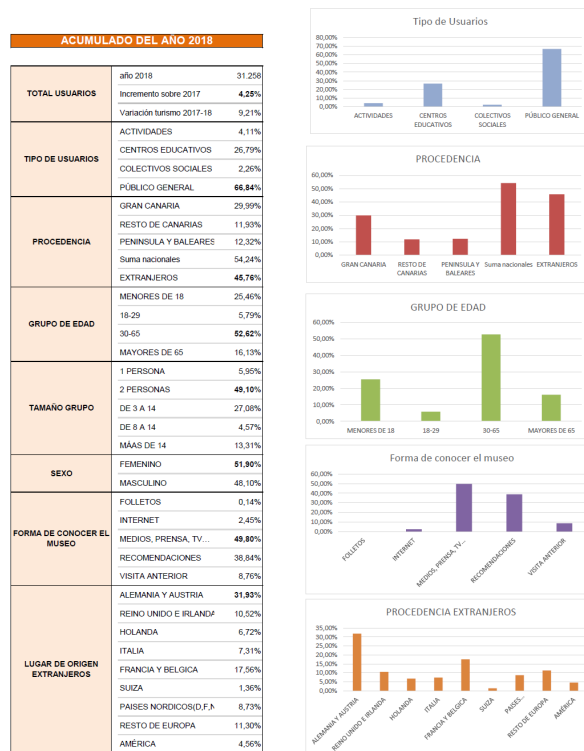


Figura 1.4: Estadística de visitas al Parque Arqueológico Cueva Pintada de Gáldar

Por tanto, este análisis general justifica profundamente la necesidad de implantación de esta propuesta de ambientación sonora en recintos arqueológicos, que ofrece al visitante una nueva forma de aprendizaje y divulgación mediante la captación sensorial de los elementos sonoros de reproducción. Además, esta propuesta presenta un gran aporte para incrementar la percepción y valoración del patrimonio histórico canario, extensible a otros puntos del planeta, además de proponerse como un medio de atracción cultural y turística moderno.

1.2. Objetivos

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado consiste en el desarrollo de un prototipo electroacústico de bajo coste, basado en la plataforma Raspberry Pi, que permite gestionar de forma eficiente la reproducción de una banda sonora en función de la detección de presencia humana en el recinto donde se aloja. Este prototipo consta de un microcontrolador basado en Raspberry Pi, un sensor infrarrojo y altavoces con conexión Bluetooth, que conectados tal y como aparece en la figura 1.5 y mediante la programación de un firmware de control, pueden reproducir la banda sonora que es objeto de este trabajo.

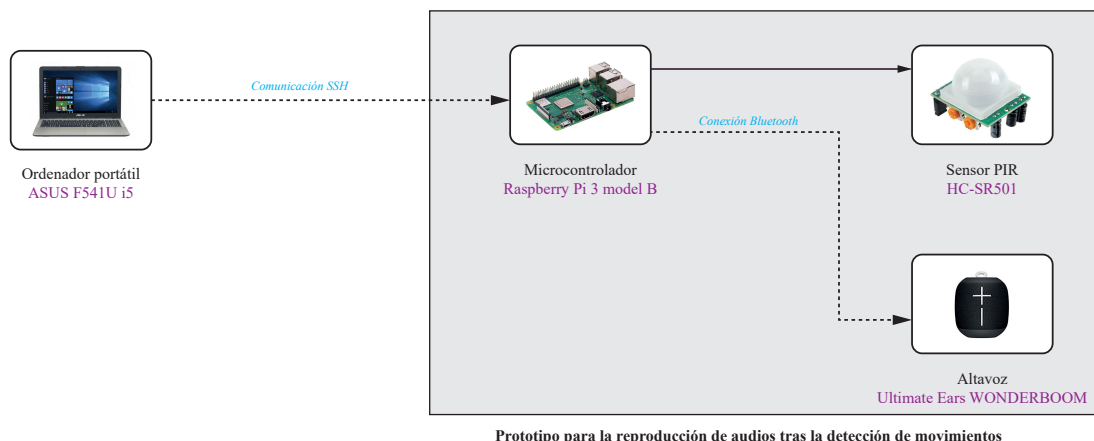


Figura 1.5: Diagrama de bloques del prototipo

El proceso que describe el diagrama de la figura 1.5 se inicia con la conexión del microcontrolador con el sensor infrarrojo. Si el sensor infrarrojo capta un movimiento dentro de su rango de detección, envía un estado binario al microcontrolador para iniciar la reproducción del audio. Dado que el microcontrolador está conectado a un altavoz con Bluetooth en todo momento, inicia la ejecución de la pista de audio diseñada y se detendrá una vez la persona que ha entrado en el rango de detección del sensor se haya ido.

Por otra parte, la creación de la banda sonora de este Trabajo Fin de Grado está basada en el acontecimiento histórico sobre el ataque del Capitán holandés Pieter Van der Does a la isla de Gran Canaria en el siglo XVI, y se enmarca en el patrimonio cultural del Castillo de Mata, en Las Palmas de Gran Canaria. Por ello, se recogen los sucesos sonoros que aportan mayor riqueza acústica a la banda sonora en virtud de la narrativa desarrollada. La creación de esta producción sonora incorpora tanto elementos sonoros fundamentados en hechos reales, justificados por historiadores, como hechos creativos para añadir emoción y sorpresa al relato histórico, permitiendo una nueva forma de divulgación de la historia al visitante. El contenido de la banda sonora tiene ruido de fondo, efectos sonoros (explosión, disparos, portazos, gritos...) y voces que relatan frases reales dichas sobre el momento narrado, para así elaborar un audio con mayor realismo y dramatismo sobre el ataque de los piratas holandeses a la isla.

Por último, la aplicación de este prototipo se desarrolla para su integración en el Museo Castillo de Mata (figura 1.6), que incluye un estudio de la zona de implantación en función del camuflaje natural del prototipo, los factores que pueden modificar su ubicación dentro del recinto y en base a la arquitectura que proporciona el lugar para su instalación. Además, se realizan pruebas sobre el prototipo tanto para estudiar el comportamiento del mismo como para obtener la valoración que se le atribuye por parte del visitante, necesarias para alcanzar los objetivos de este Trabajo Fin de Grado.



Figura 1.6: Mapa de la ubicación del Museo de la Ciudad y del Mar Castillo de Mata

1.3. Estructura de la memoria

La memoria de este Trabajo Fin de Grado se divide en 6 capítulos, cuyo contenido se describe brevemente en los siguientes puntos:

- **Capítulo 1:** se destacan los antecedentes que argumentan la realización de este trabajo, además de los objetivos planteados y la planificación de los capítulos que componen la memoria.
- **Capítulo 2:** se introducen los conceptos fundamentales para el desarrollo de la recreación de un paisaje sonoro, además de describir el relato histórico que enmarca este trabajo y el patrimonio cultural de aplicación.
- **Capítulo 3:** se detallan las características técnicas de los diferentes dispositivos que componen el prototipo, así como el proceso de diseño del algoritmo para el control del prototipo.
- **Capítulo 4:** se describen los fundamentos para la recreación del paisaje sonoro histórico, incluyendo la narrativa para la realización de la producción sonora, además de los criterios llevados a cabo para la implantación y camuflaje del sistema de ambientación sonora en el museo.
- **Capítulo 5:** se especifican las pruebas desarrolladas para demostrar el comportamiento del altavoz y las soluciones obtenidas, así como las propuestas de pruebas de valoración del visitante. Además, se describe el equipamiento empleado para la realización de las pruebas.
- **Capítulo 6:** se detallan tanto los resultados obtenidos en base a los objetivos planteados inicialmente como las ideas y propuestas sobre las líneas futuras que puedan impulsarse en base a este trabajo.

Asimismo, se incluye la bibliografía utilizada para referenciar la memoria de este trabajo y el presupuesto de este trabajo, agregando una serie de anexos donde se encuentra aquella información adicional que no se detalla durante la redacción de los capítulos de la memoria.

Capítulo 2

Fundamentos del paisaje sonoro

2.1. Introducción

El término *paisaje sonoro* [13] se define como los sonidos que se generan en un espacio concreto y que adquieren un significado y un valor en el entorno social donde se producen, permitiendo su evolución. Este concepto surge a raíz de una serie de investigaciones realizadas a finales de la década de los 60 por el profesor y compositor R. Murray Schafer en Canadá, quien explica los fenómenos acústicos del ambiente sonoro que nos rodea. Estos paisajes sonoros son completamente diferentes en todas las partes del mundo, y dependen de la hora del día, la estación del año, el entorno y la cultura.

La norma ISO 12913-1:2014, utilizada a lo largo de este trabajo, tiene como objetivo consensuar a nivel internacional la definición de paisaje sonoro para establecer un principio de aplicación en los campos donde es utilizado este concepto. Esta norma define el concepto de paisaje sonoro desde dos perspectivas, una como el sonido que procede del entorno donde se produce, y otra como el sonido interpretado según la percepción humana [14],[15]. Dentro de los aspectos que comprenden el desarrollo de esta norma, se incluyen los criterios de medición y realización de documentación para el estudio del paisaje sonoro, además de su planificación y diseño.

En el presente trabajo se recogen estos fundamentos para la recreación de un paisaje sonoro ambientado en la historia de la piratería en Canarias, concretamente en el ataque del capitán holandés Pieter van der Does sucedido en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria en el siglo XVI. Por ello se ha elegido el Museo de la Ciudad y del Mar, Castillo de Mata, en Las Palmas de Gran Canaria para estudiar los acontecimientos ocurridos en esta edificación que puedan ser de utilidad para realizar aplicaciones sobre la Acústica Histórica.

2.2. Fundamentos del paisaje sonoro

A continuación se definen los aspectos más importantes sobre el estudio del paisaje sonoro explicado en función de los estudios de R. Murray Schafer, así como el consenso y aplicación de la norma ISO 12913-1:2014 sobre este término.

2.2.1. El paisaje sonoro de R. Murray Schafer

A finales de la década de los 60 uno de los compositores más destacados en Canadá, el profesor Raymond Murray Schafer (18 de julio de 1933) uno de los compositores más destacados en Canadá, desarrolla un nuevo concepto denominado paisaje sonoro [16]. Schafer interpreta este concepto como la combinación de sonidos generados en un espacio o ambiente sonoro que proporcionan información para conocer el ambiente que nos rodea. El término paisaje sonoro *soundscape* proviene de la palabra paisaje *Landscape*, lo cual justifica que los sonidos que componen un paisaje sonoro describen un lugar o ambiente determinado, aportándole un sentido a ese lugar y permitiendo la evolución del entorno en el que se producen los sonidos [17]. Schafer entiende por paisaje sonoro cualquier ambiente sonoro, tales como entornos naturales, rurales o urbanos, como composiciones musicales o montajes sonoros. En 1969, el compositor integra este término en el desarrollo de su proyecto titulado *El Nuevo Paisaje Sonoro* [18], en el que vincula la relación de los seres humanos con su entorno sonoro, tal y como cita el propio Schafer en el siguiente texto:

“Yo denomino Soundscape [Paisaje Sonoro] al entorno acústico y con este término me refiero al campo sonoro total, cualquiera sea el lugar en que nos encontremos. Es una palabra derivada de Landscape [paisaje]; sin embargo, y a diferencia de aquella, no está estrictamente limitada a los lugares exteriores. El entorno que me rodea mientras escribo es un Soundscape, un Paisaje Sonoro” (Schafer, 1994), citado por (Ferretti, 2006, p. 783).

Con estas palabras Schafer intenta explicar que el paisaje sonoro depende de la relación que existe entre el ser humano y el entorno en el que se encuentra. Además, concluye que el término no es exclusivo de un sólo lugar y que presenta distintas características según el ambiente donde se encuentra el oyente. Por ello, la modificación del mismo está ligada a la actividad humana que se ejerce sobre la naturaleza, produciendo fuentes sonoras que informan al individuo, a través del sonido o ruido, los sucesos que transcurren a su alrededor y la responsabilidad del sujeto sobre la calidad del paisaje sonoro y su medio ambiente.

Por otra parte, para el autor “*aprender a escuchar*” es algo esencial, pues nos permite conocer los sonidos que nos rodean, así como favorecer el análisis y la ejecución musical. A raíz de las investigaciones realizadas en el proyecto de “El Nuevo Paisaje Sonoro”, se ha logrado mejorar la sonoridad urbana a partir del aprendizaje de *escuchar*. Conforme a esto, Schafer dijo:

“la manera de mejorar el paisaje sonoro mundial es simple. Tenemos que aprender a escuchar.” [19]

En *El Nuevo Paisaje Sonoro* [20] se sugiere que los sonidos se deben cuidar, manteniendo aquellos que aportan información útil al ser humano y evitar o reducir aquellos que no aportan ningún beneficio sonoro, puesto que los sonidos de menor importancia pero con mayor sonoridad pueden llegar a enmascarar a los sonidos más agradables o importantes. Además, Schafer destaca que el cuidado del paisaje sonoro se ha visto deteriorado considerablemente con el paso de los años, ya que no se pueden comparar los sonidos de antaño, que eran más armoniosos y menos ruidosos, con los que tenemos en la actualidad, que producen efectos bulliciosos, chirriantes y de escaso interés.

Por otro lado, en el proyecto *El Nuevo Paisaje Sonoro* se incluye otro concepto importante, denominado el *objeto sonoro* [21]. Este término se define como un evento acústico que sufre un proceso de evolución, interpretado por Schafer como *la vida biológica del objeto sonoro*. Asimismo, el autor concluye que los paisajes sonoros están formados por objetos sonoros y que cada objeto sonoro compone lo que se denomina *la envolvente del sonido*, la cual se divide en diferentes etapas de la vida bio-acústica, que son: la preparación del sonido, el ataque, el sonido estable, extinción y eco o reverberación, dependiendo si el sonido se produce en espacio abierto o cerrado. Además, vincula la envolvente del sonido con las etapas de la vida de un ser humano, relacionando las fases anteriormente nombradas con las siguientes: nacimiento, infancia, vida adulta, vejez, muerte y funeral. En la figura 2.1 se puede apreciar esta comparativa que hace referencia Schaffer, en la que relaciona la envolvente con la vida biológica del sonido.

2.2.2. Norma-ISO 12913-1:2014 - paisaje sonoro

El desarrollo del concepto de paisaje sonoro ha evolucionado conforme a los estudios realizados en diferentes disciplinas, en las cuales su definición varía según los campos en los que se aplique este concepto. Aunque la utilización de este concepto puede derivar diferentes definiciones, los estándares internacionales se encargan de regular, su definición para que las diferentes disciplinas que utilizan este concepto puedan aplicarlo conforme a la Norma-ISO 12913-1:2014 [22]. Aunque existe una gran semejanza entre

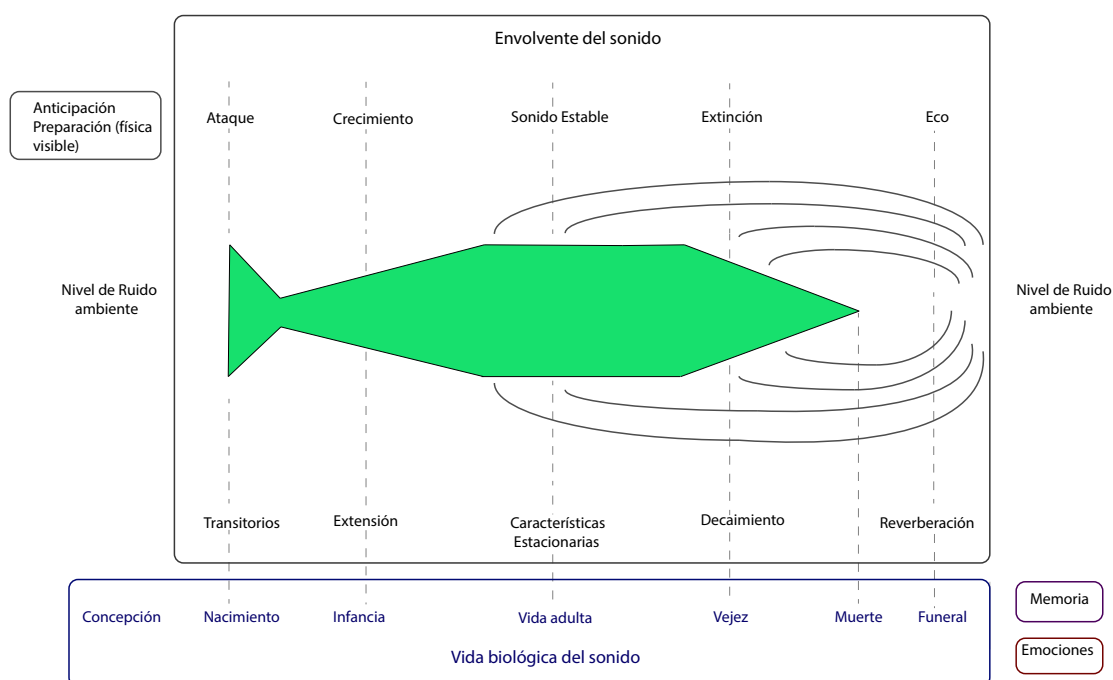


Figura 2.1: La envolvente y la vida biológica del sonido

los conceptos *soundscape* y *landscape*, se diferencian por la forma de percepción de la persona. Por ello, la norma destaca que el término paisaje sonoro está definido como una idea perceptible asociada a un fenómeno físico, haciendo una clara distinción entre ambos conceptos, pero resaltando que son dependientes entre sí para la explicación y aplicación del término.

La norma ISO 12913:2014 basada en el concepto de paisaje sonoro se compone de las siguientes partes:

- Parte 1: Definición y marco conceptual
- Parte 2: Métodos y medidas

A continuación, se desarrollan los aspectos fundamentales de cada uno de los apartados de la primera parte correspondiente a la norma ISO 12913:2014.

Definición y marco conceptual

1. Alcance

La norma ISO 12913-1 desarrolla algunos factores que se van a tomar en cuenta para la aplicación del concepto de paisaje sonoro en diferentes campos, regulado por

la ISO (*International Organization for Estandarization*). Estos factores se citan en el siguiente párrafo de la norma:

ISO 12913-1

La Estandarización Internacional proporciona la definición y el marco conceptual de paisaje sonoro. Explica los factores relevantes para la medida y documentación en estudios del paisaje sonoro así como también para la planificación, diseño y manejo del paisaje sonoro.

2. Términos y condiciones

Una vez definidos los factores de aplicación, la norma proporciona una serie de términos que están relacionados con el paisaje sonoro y que dependen directamente de este concepto. Estas definiciones son nombradas a lo largo de la norma, y son las siguientes:

ISO 12913-1

Para el propósito de este documento se utilizaran los siguientes términos y definiciones:

2.1 Fuentes sonoras: *Sonidos generados por la naturaleza o la actividad humana.*

2.2 Ambiente acústico: *Sonido que llega al receptor desde todas las fuentes de sonido ya modificado por el ambiente. El ambiente acústico puede ser real o simulado, exterior o interior, experimentado o recordado.*

2.3 Paisaje sonoro: *El ambiente acústico percibido o experimentado y/o entendido por la/las personas en el contexto.”*

3. Marco conceptual**3.1 General**

En la norma aparece una serie de conceptos generales que influyen durante el proceso de percepción del ambiente acústico. Cada uno de estos conceptos se definen en el orden seguido por el esquema de la figura [2.2](#). Además, este esquema permite evaluar el concepto de paisaje sonoro según el proceso de percepción del ambiente acústico. A continuación, se nombran los conceptos generales a los que se hace referencia.

ISO 12913-1

La Figura 2.2 describe el proceso de percepción o experiencia y/o entendimiento del ambiente acústico, destacando siete conceptos generales y sus relaciones: (1) Contexto, (2) Fuentes sonoras, (3) Ambiente acústico, (4) Sensación auditiva, (5) Interpretación de la sensación auditiva, (6) Respuestas, (7) Resultados.

La figura 2.2 explica que el paisaje sonoro es la percepción/experiencias y/o entendimiento de las personas del ambiente acústico. Aunque, las aplicaciones prácticas enfatizan en el manejo o cambio en las fuentes sonoras y el ambiente acústico. El principio de la medida, asesoramiento, o evaluación del paisaje sonoro, de acuerdo con la Estandarización Internacional, se basa en la percepción humana del ambiente acústico.

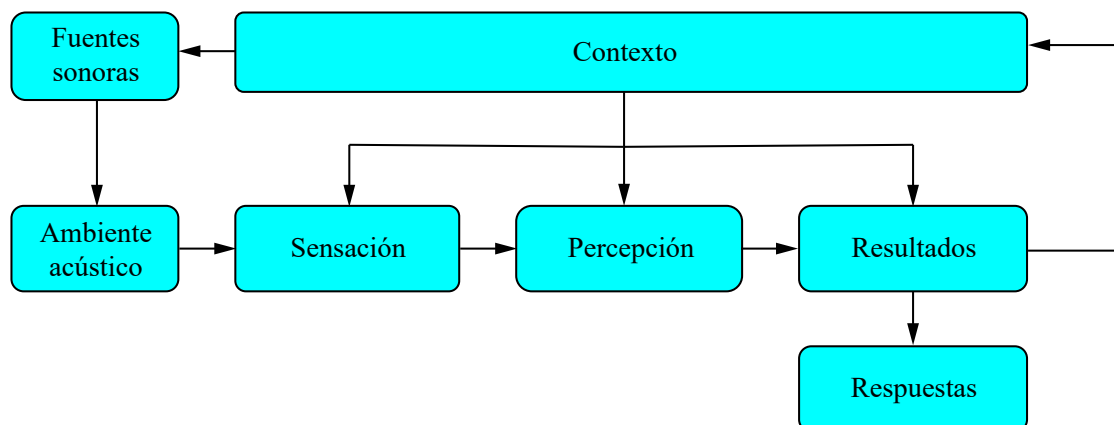


Figura 2.2: Elementos en la construcción perceptible del paisaje sonoro

En esta primera parte, la norma ISO 12913-1 establece dos aspectos importantes que definen el concepto de paisaje sonoro. Por un lado, determina este concepto como los sonidos intrínsecos de un ambiente, teniendo en cuenta todos los factores que puedan influir en el desarrollo del mismo. Por otro lado, relaciona este término con la percepción humana en un determinado ambiente acústico.

3.2 Contexto

En el contexto de la norma, se presentan algunos factores que pueden influir en el paisaje sonoro, que dependen principalmente del entorno donde se generan los sonidos percibidos. Este espacio tiene unas características que determina tanto el ambiente acústico como la percepción sonora del ser humano. Estos factores determinantes se nombran a continuación:

ISO 12913-1

El contexto incluye las relaciones entre la persona y la actividad y el lugar, en espacio y tiempo. El contexto puede influir en el paisaje sonoro a través de (1) la sensación auditiva, (2) la interpretación de la sensación auditiva y (3) las respuestas del ambiente acústico.

a) Ejemplos de factores que pueden influenciar la sensación auditiva, aparte del ambiente acústico, incluyen las condiciones meteorológicas (que cambian según la estación), problemas auditivos y audífonos (aparatos para sordos).

b) Ejemplos de factores que pueden influenciar la interpretación de la sensación auditiva incluyen la actitud hacia la fuente sonora y al productor del sonido, experiencia y expectativas (cultura, intenciones o razones para estar en un lugar) así como también otros factores sensoriales como la impresión visual y el olor.

c) Ejemplos de factores que pueden influenciar las respuestas hacia un ambiente acústico incluyen la hora del día, la luz y meteorología, estado emocional, los recursos psicológicos y fisiológicos para lidiar con la situación, la habilidad percibida para controlar la exposición a los sonidos, así como también las actividades personales y de otros.

En la definición presentada, la norma atribuye el paisaje sonoro a la percepción del ambiente acústico de las personas en un ámbito concreto, puesto que en diferentes lugares del mundo las personas no tienen la misma percepción acústica, ya sea por razones de índole cultural, las fuentes sonoras utilizadas y, que por tanto, cada paisaje sonoro se percibe de una forma diferente según el entorno acústico.

3.3 Fuentes sonoras

Las fuentes Sonoras son los principales generadores del ambiente acústico que percibimos. Estas fuentes pueden ser naturales y artificiales, que al reproducirse en un espacio dan lugar al paisaje sonoro. Conforme a esto la norma concreta lo siguiente:

ISO 12913-1

El paisaje sonoro se origina de las fuentes de sonido (ejemplo: el tráfico, pájaros piando, voces, pasos, etc) y su distribución en el espacio y tiempo.

3.4 Ambiente acústico

El concepto de *ambiente acústico* se entiende por el proceso de transformación que experimentan los sonidos desde el momento que son generados hasta que son percibidos por el ser humano, dentro de un espacio determinado. A continuación se presenta su definición normalizada.

ISO 12913-1

Como se ha definido en la sección 2.2, el ambiente acústico es el sonido que proviene de todas las fuentes de sonido, modificado por el ambiente. Las modificaciones ambientales incluyen efectos en la propagación del sonido que resultan, por ejemplo, de las condiciones meteorológicas, absorción, difracción, reverberación y reflexión.

3.5 Sensación auditiva

La capacidad humana de captar los sonidos a los cuales somos más sensibles definen la *sensación auditiva*. Por tanto, es el proceso fisiológico donde son estimulados los órganos de la audición en un entorno acústico. La norma define esta capacidad en el siguiente párrafo:

ISO 12913-1

ISO 12913-1: Es el proceso neurológico que comienza cuando los estímulos auditivos alcanzan los receptores del oído. Esta es la primera etapa en la detección y representación del ambiente acústico. La sensación auditiva es influenciada por el enmascaramiento del sonido, contenidos espectrales, patrones temporales y la distribución espacial de las fuentes de sonido (compárese con Psicoacústica).

La sensación auditiva se asocia a la Psicoacústica, ya que ambas determinan las reacciones fisiológicas del ser humano al sonido, y por tanto la norma trata de explicar que la sensación auditiva no se debe asociar solamente al ambiente acústico, sino también a los órganos humanos como el cerebro y el oído, que son los que intervienen en el proceso auditivo de una persona.

3.6 Interpretación de la sensación auditiva

Se define la *interpretación de la sensación auditiva* como la reacción del ser humano a los sonidos, dando lugar a su inteligibilidad. Es el proceso posterior a la sensación auditiva, en el que asimilamos los sonidos y determinamos sus características, que además aportan conocimiento del mismo.

ISO 12913-1

ISO 12913-1: *La interpretación de la sensación auditiva (preparación auditiva) se refiere a los procesos conscientes e inconscientes de las señales auditivas para crear información útil, la cual puede llevar al entendimiento y percepción del ambiente acústico. La percepción del ambiente acústico, en su contexto, representa la experiencia del ambiente acústico.*

NOTA: Un ejemplo de percepción auditiva inconsciente sería cómo los sonidos son interpretados mientras dormimos.

3.7 Respuestas

Por último, en la norma ISO 12913 se definen los términos *respuestas* y *resultados* como las consecuencias de la percepción humana que pueden generar satisfacción o molestia en las personas. Son dos términos muy similares, y se diferencian en el grado de trascendencia de la percepción acústica del individuo. Si el ambiente acústico afecta en mayor medida al ser humano, se habla de resultados, mientras que si trascienden menos en la persona, se trata de respuesta. A continuación se presenta el significado de estos dos conceptos en términos de la norma.

ISO 12913-1

Incluyen las reacciones y emociones a corto plazo, así como también el comportamiento, el cual puede cambiar el contexto.

EJEMPLO: La persona A, que está sentada cerca de una fuente en una plaza puede responder con emociones de gozo y alivio porque la fuente enmascara el ruido del tráfico de alrededor. Como resultado, la persona A decidirá quedarse por más tiempo. La persona B que pasa la fuente caminando por el parque puede responder con emociones de molestia y decidirá irse de inmediato.

Por tanto, las respuestas son interpretadas como reacciones de la persona ante un sonido concreto, con un menor grado de influencia, es decir, este sonido afectará al individuo tanto sea saludable como no, pero no tendrá una repercusión mayor.

3.8 Resultados

Sin embargo, los *resultados* definen las reacciones del ser humano a un ambiente acústico con mayor influencia de la que recibe el individuo en las respuestas. Por lo tanto, los resultados determinan si una persona tolera un determinado ambiente acústico o por el contrario, no es capaz de soportarlo. En este último párrafo de la norma se definen los resultados, escogiendo la misma situación del ejemplo de la sección 3.7.

ISO 12913-1

Los resultados son una consecuencia a largo plazo facilitada o habilitada por el ambiente acústico. Los resultados incluyen actitudes, creencias, juicios, hábitos, experiencias de visita/usuario (por ejemplo: actividades, acciones y estados mentales), salud, bienestar y calidad de vida, así como también costes reducidos para la sociedad.

EJEMPLO: La persona A (del ejemplo 3.7) puede decidir volver al parque el fin de semana siguiente o frecuentemente. La persona B (del ejemplo 3.7) puede que nunca regrese.

En conclusión, la norma acepta la relevancia del ambiente acústico como un paradigma que debe ser tratado subjetivamente, tanto para el cuidado del medio ambiente como para la calidad de vida del ser humano.

2.3. Propuesta del episodio histórico para su recreación

Una *recreación histórica* es la puesta en escena de un suceso o acontecimiento que ha trascendido desde épocas pasadas hasta la actualidad. La recreación no consiste solamente en “relatar un suceso”, sino que también vuelca al espectador sobre un determinado acontecimiento de forma realista. De esta manera, el individuo siente el momento histórico recreado en primera persona, logrando una mejora en la captación de su atención, valoración y apreciación.

Como primera aproximación de este apartado, es importante hacer una descripción de los acontecimientos históricos para los que se va a fundamentar la recreación histórica que se desarrolla en este trabajo. Esta recreación se sustenta en los ataques piratas de mayor repercusión en la isla de Gran Canaria llevados a cabo primeramente por el capitán inglés Francis Drake y, posteriormente, por el capitán holandés Pieter van der Does [23], [24]. A continuación, se relatan los hechos más trascendentales que ocurrieron en Gran Canaria entre 1496 y 1599, cuando se produjeron los primeros ataques navales de la mano de corsarios y piratas extranjeros hasta el ataque del capitán van der Does.

Una vez terminada la conquista de las Islas Canarias (1496) dirigida por los Reyes Católicos y la firma del Tratado de Tordesillas (1494) con el Reino de Portugal, las islas se convirtieron en el lugar de tránsito de las flotas cargadas de tesoro obtenido de América, cuya posesión estaba disputada con los pueblos de Francia, Inglaterra y Holanda. A medida que el comercio iba aumentando en las islas, la piratería se fue acentuando

y tuvo su impacto con los primeros intentos de ataques de piratas y corsarios durante el siglo XVI. Ante los inminentes ataques por parte de los navíos extranjeros, las autoridades canarias decidieron construir nuevos torreones y fortificaciones localizadas en puntos estratégicos cercanas al mar para frenar los ataques extranjeros. Muchas fueron las fortificaciones que se construyeron en las Islas Canarias, entre los que destacan el castillo de Rubicón (Lanzarote), el de Rico Roque y Gran Tarajal (Fuerteventura), la Torre de Gando (Gran Canaria) y la Torre de Añaza (Tenerife). La primera fortificación construida en Las Palmas de Gran Canaria fue La Fortaleza de Las Isletas (1492), que protegió durante años el Puerto de la Luz del desembarco de los corsarios y piratas franceses motivados por la caza de las Carabelas Indianas.

La isla también se vio afectada por la presencia inglesa mediante numerosos intentos de ataques, entre los que destaca el que realizó el capitán Francis Drake a la Ciudad de Las Palmas en 1586. Sin embargo, la ciudad estaba bien protegida con grandes fortificaciones, por lo que los ingleses no pudieron desembarcar en la capital y tuvieron que tomar una nueva estrategia. Por ello, decidieron atacar y desembarcar en la costa de Arguineguín, la cual no tenía una defensa significativa como la que había en la Ciudad de Las Palmas. Esta hazaña de parte de la armada inglesa fue conocida como el desembarco de Arguineguín, la cual reportan varios historiadores españoles. Los ingleses desembarcaron por el sur de la isla, y cuando las milicias canarias que se encontraban en esa zona se percataron de su presencia, comenzaron los intensos enfrentamientos entre la armada inglesa y las milicias. Después de varias horas de batallas, la rígida defensa de las milicias obligó a la armada inglesa a retirarse y a reembarcar hacia las islas más occidentales, finalizando así los ataques ingleses a la isla de Gran Canaria.

A pesar del ataque anteriormente nombrado, el que más influencia tuvo en la isla fue el ataque del capitán Van der Does, que originó numerosos incendios y destrozos en las grandes fortificaciones en su entrada en la ciudad. Eran tiempos difíciles para la monarquía española, ya que la rebelión de los Países Bajos, iniciada durante el reinado de Felipe II, se mantenía desafiante tras la coronación de su hijo Felipe III, en septiembre de 1598. Felipe III toma una de sus primeras medidas intensificando el bloqueo comercial al que venía sometiendo a las provincias rebeldes. Sin embargo, a consecuencia de este hecho, las provincias rebeldes no tardarían en reaccionar. En mayo de 1598, en el puerto de Flesinga, en la provincia de Zelanda (Holanda), una flota compuesta por 73 barcos embarcaron rumbo a las costas españolas comandadas por el capitán Pieter van der Does. Tras varios intentos de ataques holandeses a La Coruña, que fueron defendidos con éxito por los españoles, los navíos holandeses se dirigieron a las Islas Canarias, creyendo que sería más fácil su dominio.

En la mañana del 26 de junio de 1599, los vigías canarios situados en La Fortaleza de Las Isletas pudieron confirmar la presencia de la poderosa escuadra holandesa, que

avistaron a lo lejos en dirección al puerto (figura 2.3). Hacía cuatro años que en la isla de Gran Canaria habían enfrentado el ataque del pirata Francis Drake, que fue repelido con éxito por las fuerzas canarias. Sin embargo, la armada holandesa dirigida por Van der Does superaba en gran número a las de Francis Drake. Una de las formas de avisar a la mayor parte de la población de Las Palmas fue el humo generado en la Montaña del Vigía que informaba a los demás vigías y atalayas de la isla del inminente peligro. El otro aviso fue originado mediante el fuerte sonido de un cañón que ordenó disparar el capitán Alonso Alvarado desde La Fortaleza de Las Isletas, para así alertar a toda la ciudad del ataque holandés, que incluso se pudo llegar a oír en la Ciudad de Telde. Para entonces, las fuerzas canarias se reducían a una pequeña guarnición de personal a sueldo que se dedicaban a resguardar los castillos, además de 1.500 milicianos, divididos en doce compañías formadas mayoritariamente por campesinos del interior de la isla.



Figura 2.3: Grabado realista que demuestra como los holandeses entraron en la isla de Gran Canaria. De Bry (1599)

La mayor defensa se concentró en la Plaza de Santa Ana con los cinco escuadrones que resguardaban la ciudad, comandados por los capitanes Baltasar de Armas, Antonio Lorenzo, Francisco de Cabrejas Toscano y Juan Ruiz de Alarcón, y además de sus respectivos alférez. La infantería que se encontraba en la ciudad afrontó el ataque, atravesando Los Arenales hacia el puerto. A estas tropas se le unieron las compañías de milicias que provenían de Gáldar y Agüimes. A todo esto, el gobernador y capitán general de la isla, Alonso Alvarado, un experimentado militar, logró reunir 900 milicianos y desplegar su sistema de defensa con rapidez, llegando a sorprender al capitán van der Does. Alvarado llevó a cabo la misma estrategia que le había resultado contra Drake, dirigiendo a sus hombres a lo largo de la costa, protegidos por trincheras para impedir el desembarco holandés.

Mientras tanto, cuando los navíos holandeses se situaron en la Punta del Palo, los constantes cañonazos de La Fortaleza de Las Isletas provocaron considerables daños

en varias embarcaciones holandesas, impidiendo los primeros intentos de desembarco. Sin embargo, poco después se detuvo el bombardeo por las fuerzas canarias, lo cual ayudó a las maniobras de las embarcaciones holandesas. Uno de los navíos holandeses quedó muy herido, pero la valentía del capitán Van der Does hizo avanzar a su escuadra instalándose muy próximo a la costa. Varios intentos de desembarco fueron realizados por los holandeses debido a la fuerte defensa que opuso La Fortaleza de Las Isletas. El capitán Van der Does decidió cambiar de estrategia y se dirigió al Istmo de Guanarteme, donde las aguas estaban más calmadas, lo cual le facilitó bastante el acceso hacia la costa, realizada por medio de lanchas que se disponían a enfrentar a las milicias canarias. Cuando las lanchas holandesas amenazaban la costa con su presencia, el capitán Alvarado toma la iniciativa de enviar a sus hombres al lugar para impedir el desembarco de las lanchas holandesas.

Aquí se produce el primer enfrentamiento cuerpo a cuerpo entre fuerzas canarias y los piratas holandeses, librándose una dura batalla que dio nombre a aquel lugar, al que se le llamó Punta de La Matanza. Los defensores canarios hicieron todo lo posible para impedir que los soldados holandeses saltaran al agua. Durante el enfrentamiento, el capitán Van der Does fue herido y a punto de caer muerto por el ataque del militar Cipriano de Torres. Sin embargo sus soldados acabaron con la vida del militar canario. Al igual que este, las fuerzas holandesas hacen valer su superioridad y acaban hiriendo de gravedad al capitán general Alonso Alvarado. La preparación y superioridad en armas que poseían los holandeses obligaron a las fuerzas canarias a replegarse y refugiarse tras las murallas de la ciudad.

Tras la retirada de las milicias canarias hacia el centro de la isla, las murallas de la ciudad quedan desprotegidas, viviéndose momentos de auténtico caos. Ante esta situación, Antonio Pamochamoso sustituye a Alonso Alvarado como gobernador, consiguiendo restaurar el orden gracias a la llegada de las milicias provenientes de las regiones de Guía y Gáldar, que fueron los encargados de la defensa de la muralla. Después de un largo día defendiendo la muralla de la ciudad, los soldados holandeses emplean contra las fuerzas canarias toda la artillería que habían obtenido de la toma de La Fortaleza de Las Isletas, obligándoles a abandonar sus posiciones debido al constante cañoneo. Los defensores evacuaron la ciudad, retirándose por lo senderos que dirigían a los pueblos del centro de la isla, cargando las posesiones que habían podido salvar. Según reportes de Antonio Rumeu de Armas, cuando los soldados de Van der Does atraviesan la muralla, alzando banderas y al son de tambores, descubren una ciudad totalmente deshabitada, que describe como “un espectro fantasmal”

Después de dos días de tregua, la mañana del 3 de julio de 1599, los escuadrones holandeses se dispusieron a avanzar hacia el Monte Lentiscal atravesando Tafira hasta Santa Brígida, mientras las milicias canarias esperaban guarecidas en lo alto de la

montaña, organizando repentinas defensas contra el enemigo y controlando cada paso de estos, desde el Cerro de El Batán (figura 2.4). Sin embargo, el avance de los holandeses se veía entorpecido por el severo camino, las temperaturas cálidas y la escasez de agua a causa del corte de las fuentes de agua que los defensores habían derribado. El capitán Van der Does ordenó a uno 300 hombres a que avanzaran para rastrear el terreno, mientras las milicias evitaban el enfrentamiento atrayendo a los holandeses hacia los complicados caminos del Monte Lentiscal. En ese instante, el gobernador Pamochoamoso mandó al capitán Juan Martel Peraza a izar banderas y hacer redoblar tambores para confundir a los holandeses, haciéndoles creer que el número de milicianos era superior al que realmente había. En la misma línea, el capitán Pedro Torres se dispuso a enfrentar a las tropas holandesas con el resto de milicianos, atacando por los costados, con lanzas y picas, ante un enemigo sorprendido por la rapidez del ataque de los defensores.



Figura 2.4: Grabado de la artillería llevada por los holandeses para combatir a las milicias (Por Luis Collado, 1592)

La ofensiva de los milicianos fue tan agresiva y organizada que los holandeses decidieron replegarse de una forma desordenada, provocando que estos se precipitaran por el barranco, desconocido por los holandeses. Mientras los invasores iban huyendo, los milicianos iban provocándoles numerosas bajas, dejando a los holandeses conmovidos por el coraje canario. Aquel bosque donde se produjo el enfrentamiento conocido como la Batalla del Batán, pasaría a llamarse la Cruz del Inglés.

El capitán van der Does, después de enterarse de aquella mala noticia y las pérdidas sufridas, decidió evacuar la ciudad realizando cuantiosos saqueos y destrucciones en los sitios más importantes de Las Palmas. La más afectada fue la Catedral de Santa Ana, que fue saqueada por completo, se le despojó del gran reloj y de las campanas, que fueron embarcadas en los navíos holandeses, se destruyeron todos los ornamentos más

importantes que poseía la catedral y quemaron todos sus monumentos. Al saqueo de la catedral se le sumó el incendio de las iglesias, conventos y ermitas más significativas de la ciudad, al igual que los cañones de La Fortaleza de Las Isletas, que fueron embarcados en los navíos extranjeros.

A la mañana siguiente, un desesperado y frustrado van der Does, ordenó incendiar toda la Ciudad de Las Palmas antes de embarcar, obligando a las milicias a extinguir el fuego para que la ciudad no quedase totalmente destruida. Esa misma mañana del 8 de julio de 1599, los holandeses se retiraron de la isla y embarcaron alejándose por la Punta del Palo, poniendo rumbo hacia la isla de La Gomera. Mientras, en la ciudad se realizaban labores para apagar el fuego y ordenar el caos producido por el saqueo. La reconstrucción de la ciudad tardó más de 40 años en recomponerse. Finalmente, después de once días, se dio por concluido el intento del capitán van der Does por conquistar la isla, uno de los ataques piratas con mayor transcendencia en la isla, que produjo numerosas destrucciones en las fortalezas y edificios más conmemorativos de la ciudad de Las Palmas, pero que fue repelido con una heroica hazaña de las fuerzas insulares, evitando que los holandeses tomaran el dominio de la isla. Este fue un acontecimiento histórico que ha pasado de generación en generación, y que a día de hoy sigue vigente en la memoria de los habitantes de la isla de Gran Canaria.

2.4. Aplicación en patrimonio histórico

Este trabajo se centra en la aplicación del concepto paisaje sonoro sobre la recreación del suceso histórico conocido por “Ataque de Van der Does” en el Castillo de Mata, actualmente Museo de la Ciudad y el Mar. En los siguientes párrafos se explican las características más importantes basadas en la historia del museo en la época relativa a los ataques de piratas holandeses.

En la actualidad, el Museo Castillo de Mata está situado en el municipio de Las Palmas de Gran Canaria por la antigua carretera del Norte, próximo al Barranco de Mata, uniendo el barrio de los Arenales (ciudad baja) con el barrio de Las Rehojas (ciudad alta). El Castillo de Mata fue elaborado por el ingeniero Juan Alonso Rubián [25] durante la segunda mitad del siglo XVI, con el objetivo de proteger a la ciudad de Las Palmas de los ataques de piratas extranjeros. El nombre de Casa Mata se debe a su forma *acasamatada* (fortificada) que poseía para la defensa de la invasión extranjera.

A finales del siglo XVI, posterior a la conquista, la única defensa que protegía la isla de la invasión extranjera era la Fortaleza de Las Isletas, ubicada en el puerto. Por ello, las autoridades se vieron obligadas a construir una defensa donde se asentaba la ciudad, entre el barrio de Vegueta y el de Triana. Se construyeron dos murallas que

resguardaban tanto la zona sur (Triana) como la zona norte (Vegueta), y estaba reforzada con bastiones a sus alrededores. El actual Museo de la Casa Mata representaba los bastiones de la zona norte de la muralla y el fuerte de Santa Ana situado en la playa. Sin embargo, el ataque del capitán Pieter van der Does en 1599 termina arruinando las dos murallas y los bastiones, tomando el control de la capital. Cuando las tropas holandesas son derrotadas, la ciudad había quedado sumida en un gran caos por los saqueos e incendios en las fortalezas más importantes, por lo que se ordena reconstruir el campo defensivo dentro de la superficie de las dos murallas [26].

En la figura 2.5 se aprecia un grabado sobre la distribución de la ciudad de Las Palmas en el año 1686 posterior al ataque del capitán Van der Does, detallando los principales recintos que resistieron el ataque holandés.



Figura 2.5: Ciudad de las Palmas de Gran Canaria. Pedro Agustín del Castillo.1686

Después del ataque del capitán van der Does, el Castillo de Mata fue reconstruido por el gobernador Francisco de la Rúa [27] en los primeros años del siglo XVII, hasta el 2013, cuando tuvo su última reconstrucción por el arquitecto Ricardo Montesdeoca, evolucionando en el museo que se conoce en la actualidad. En 2002 fue descubierto, dentro del Castillo de Mata, El Cubelo, donde se encuentra la mayoría de las exposiciones relativas a la época de la piratería y los ataques navales que sufrió la isla.

El Museo Castillo de Mata ha sido declarado Monumento Histórico Artístico desde 1949 y también fue utilizado, durante un tiempo, como alojamiento por el ejército español hasta 1997 [28]. Actualmente, este patrimonio histórico acoge el Museo de la Ciudad y el Mar, que se fundamenta en la historia de la ciudad de las Palmas y su vínculo con el mar. En la figura 2.6 se ilustra una evolución del Castillo de Mata comparando como era la composición de su arquitectura a finales del siglo XIX (1890-1895), a principios del siglo XX (1905) y como se encuentra en la actualidad.



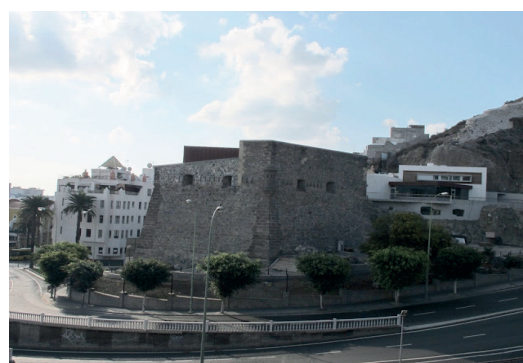
Castillo de Mata. 1890. Foto: Luis Ojeda Pérez



Castillo de Mata. 1893. Foto: Carl Norman



Castillo de Mata. 1890. Foto: Da Luz Perestrello



Castillo de Mata. En la actualidad. Foto: El coleccionista de instantes

Figura 2.6: Evolución de la Casa Mata desde 1890 hasta la actualidad

Capítulo 3

Diseño del prototipo

3.1. Unidad de procesamiento

3.1.1. Introducción

La Raspberry Pi o RPi es un sistema embebido desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi en 2006, con el objetivo de introducir la programación informática en colegios y universidades [29]. Este dispositivo surge con la intención de desarrollar, de forma ágil y sencilla, prototipos hardware y software de propósito general, además de ser una de las plataformas que han propiciado el uso del lenguaje de programación Python [30]. La RPi se destina a cualquier tipo de proyecto electrónico o prototipo basado en una idea de ingeniería, además de integrar acceso a Internet, por lo que suele ser muy utilizada en el desarrollo de proyectos IoT (*Internet of Things*) [31],[32].

En cuanto al hardware, actualmente podemos distinguir varios modelos: RPi 3, RPi 2, RPi B+, RPi A+, RPi Zero y RPi B, donde cada plataforma presenta diferentes características. La Raspberry Pi 3 modelo B (o RPi 3B), que ha sido utilizada durante la elaboración de este trabajo, cuenta con un chip Broadcom BCM2837 y un gran número de entradas y salidas, lo que permite conectarla con distintos dispositivos e interfaces [33]. Este modelo destaca por su eficiencia energética, que es superior a la que presentan sus versiones anteriores, lo que la convierte en una buena alternativa frente otras plataformas como son Arduino, Orange Pi o BeagleBone Black.

En cuanto al software, la Raspberry Pi utiliza un sistema operativo Linux [34] que se carga sobre una tarjeta microSD. Su sistema operativo oficial es Raspbian, una versión adaptada de Debian, aunque permite utilizar otras distribuciones Linux como, NOOBS, Ubuntu, RISC OS 5, Arch Linux ARM (derivado de Arch Linux) y Pidora (derivado

de Fedora). Sin embargo, existen otras distribuciones como Windows 10 IoT Core y RISC OS para la RPi, que ofrecen un soporte limitado a los usuarios en comparación con Linux.

A continuación, se detallarán los elementos hardware que se integran en la RPi 3B, así como aquellos aspectos del software más relevantes para la configuración y la gestión de esta plataforma.

3.1.2. Características hardware

En este punto se describen aquellos elementos que componen el hardware de la RPi 3B, así como sus características más importantes.

Microprocesador

La RPi 3B posee un SoC (*System on chip*) basado en el procesador Broadcom BCM2837, que incluye cuatro núcleos ARM Cortex-A53 [35]. Este procesador emplea un conjunto de instrucciones ARMv8 de 64 bits, y utiliza una frecuencia de reloj de 1,2 GHz y 1 GB de memoria LPDDR2. Es importante destacar que se trata de un procesador de alto rendimiento, en comparación con los procesadores de las versiones anteriores, además de ser de bajo consumo energético, reducido tamaño y relativa simplicidad en su arquitectura. En cuanto a las interfaces de entrada y salida más destacadas del microprocesador, este posee 2 buses I2C, 1 bus SPI, 1 puerto UART y 2 salidas de PWM.

Unidad de memoria

La unidad de memoria de la RPi 3B se compone de una memoria SDRAM (*Synchronous Dynamic Random Access Memory*) y una memoria SD (*Secure Digital*) que se introduce externamente sobre un socket en la parte baja de la RPi [36]. A continuación, se describen las principales características que poseen estas memorias:

- **Memoria SDRAM:** su capacidad es de 1 GB, y es compartida entre la CPU y la GPU de la RPi. Generalmente, la GPU tiene una capacidad de 64 MB, y el resto es para la CPU. Se basa en la tecnología DDR2, con 200 MHz de velocidad de reloj y 800 millones de datos transferidos por segundo.
 - **Memoria SD:** consiste en una tarjeta microSD con una capacidad de al menos 4 GB, donde se ejecuta el sistema operativo de la RPi, y sus velocidades de lectura y escritura van desde 4 Mbps hasta 10 Mbps, dependiendo del tipo de tarjeta.
-

Interfaces de comunicación y alimentación

La RPi cuenta con una serie de interfaces de comunicación que permiten interconectarla con otros dispositivos. A continuación, se describe cada una de las interfaces que presenta esta plataforma:

- **Conector de alimentación externa:** se dispone de un conector microUSB tipo B que proporciona 5 V de tensión y un consumo de hasta 2.5 A.
- **Conector Ethernet:** presenta un conector RJ-45 que proporciona conexión a Internet a la RPi, con tasas de transmisión entre 10 Mbps y 100 Mbps.
- **Conector HDMI:** se utiliza para la conexión con un monitor o televisor, alcanzando resoluciones Full-HD.
- **Conectores USB:** posee 4 conectores USB 2.0, que permiten conectar varios periféricos al mismo tiempo.
- **Conector de audio y vídeo:** consiste en un jack estéreo de 3.5 mm, que ofrece vídeo compuesto, así como vídeo y audio estéreo en las plataformas más modernas.
- **Conector DSI:** se trata de un puerto DSI (*Display Serial Interface*) que permite la conexión de pequeñas pantallas LCD con la GPU del dispositivo.
- **Conector CSI:** es un conector tipo bus de 15 pines, utilizado para conectar dispositivos compatibles con la interfaz CSI-2 (*Camera Serial Interface versión 2*).
- **Bluetooth:** utilizado para comunicar, de forma inalámbrica, la RPi con otros dispositivos a distancias pequeñas (10 m – 100 m), con tasas de transferencia de datos cercanas a 2 Mbps. La RPi 3B cuenta con Bluetooth 4.1 LE (*Low Energy*), con una tasa de consumo energético baja.
- **Wifi:** se integra Wifi IEEE 802.11, que permite conectar inalámbricamente la RPi a Internet, con tasas de transferencia entre 10 Mbps y 300 Mbps, cubriendo distancias de hasta 100 m. Sin embargo, su consumo energético suele ser bastante alto en comparación con otros estándares, como Bluetooth.

Además, la RPi cuenta con un conjunto de pines GPIO (*General Purpose Input/Output*) que permiten interconectar sensores, actuadores y otros dispositivos. Estos pines se clasifican en cuatro grupos, tal y como se observa en la figura [3.1](#), y son los siguientes:

- **Pines de alimentación:** estos pines proporcionan tensiones de 3.3 V y 5 V, y están limitados a 50 mA de corriente continua. Se utilizan principalmente para alimentar aquellos módulos que se conectan externamente a la RPi.
- **Pines GND:** están conectados eléctricamente entre sí y proporcionan la conexión a tierra del dispositivo.
- **GPIO comunes:** son pines de propósito general que se utilizan para interconectar sensores y actuadores, así como recibir o transmitir señales de naturaleza analógica y/o digital.
- **GPIO especiales:** aunque estos pines pueden ser utilizados como pines GPIO comunes, también pueden desempeñar las siguientes funciones:
 - UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), que se emplea para la comunicación serie entre dos dispositivos electrónicos.
 - I2C (*Inter Integrated Circuit*), un bus de dos hilos utilizado para comunicarse con circuitos integrados.
 - SPI (*Serial Peripheral Interface*), que proporciona un enlace serie síncrono que permite comunicar a la RPi con otros dispositivos a corta distancia.
 - PWM (*Pulse Width Modulation*), que modula los pulsos digitales en función de la programación realizada por el usuario, generando señales que permiten controlar dispositivos electrónicos, como es el caso de los motores.

3.1.3. Características software

En este punto se describen aquellos elementos relativos al software, destacando las principales características del sistema operativo y aquellos aspectos de interés para su configuración y programación.

Sistema operativo

Linux es un sistema operativo desarrollado por Linus Torvalds en 1991. Se trata de un sistema operativo de código abierto, de modo que el usuario puede modificar o mejorar distintas funcionalidades del sistema y compartir sus cambios con la comunidad de usuarios y desarrolladores [\[37\]](#). Además, es un sistema *multitarea*, que habilita al usuario a realizar distintas tareas a la vez, así como *multiusuario*, que permite a varios usuarios realizar diferentes tareas simultáneas en un mismo ordenador. Una de las ventajas más evidentes de Linux es su estabilidad, ya que su diseño asegura que el fallo

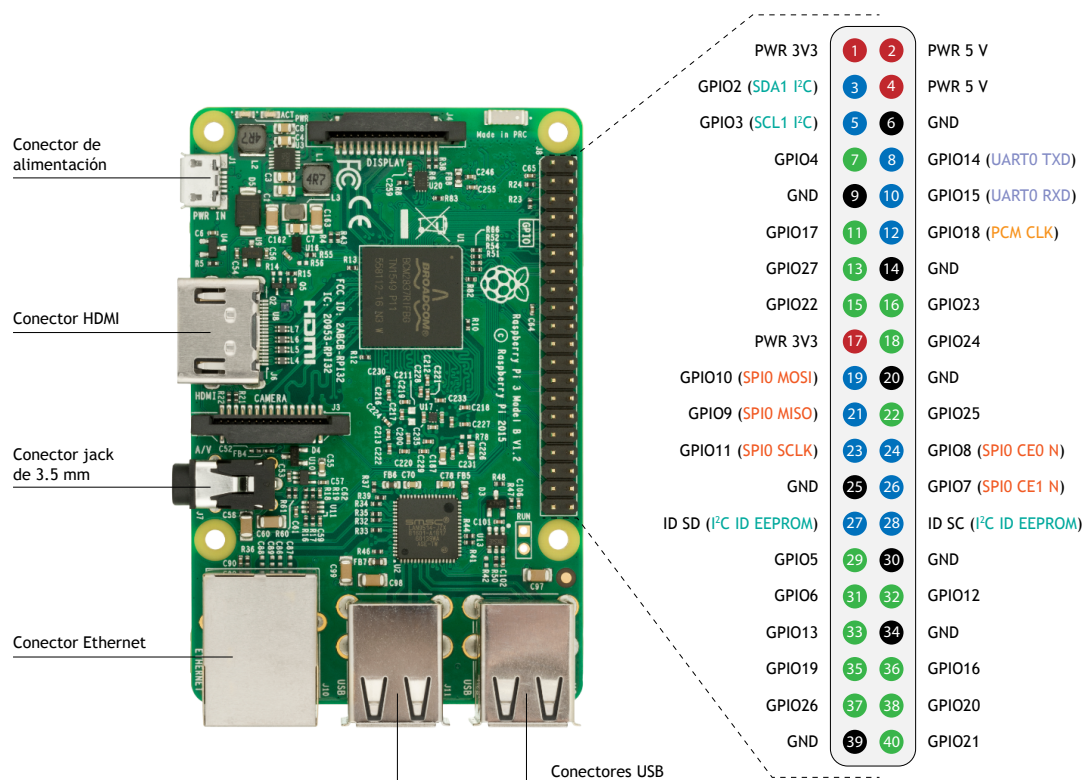


Figura 3.1: Descripción de pines de la RPi 3B

en una aplicación no implique un fallo global del sistema, por lo que suele ser muy utilizado en tareas de desarrollo software en distintos ámbitos.

Con respecto a otros sistemas operativos como Windows o macOS, Linux presenta numerosas diferencias tanto en su diseño como en su uso. A continuación, se muestra una comparativa entre algunas de las características más importantes de Linux frente a otros sistemas operativos:

- **Código fuente:** Linux permite el acceso total a su código fuente (*kernel*) para descargarlo y modificarlo cuando se desee, a diferencia de otros sistemas operativos comerciales que no permiten modificaciones en su software interno.
- **Licencias:** la licencia que proporciona Linux permite realizar modificaciones en su software y compartirlas con otros usuarios, además de poder descargar una copia de distribución e instalarla en tantas máquinas como se desee, a diferencia de Windows por ejemplo, donde cada licencia es única para una sola máquina.
- **Seguridad:** Linux ofrece diversos mecanismos de seguridad revisados por una amplia comunidad de desarrolladores, a diferencia de otros sistemas operativos donde la seguridad no es la característica más robusta que presentan.

Las principales distribuciones de Linux de código abierto empleadas por la comunidad de usuarios de RPi son Raspbian, NOOBS, Ubuntu MATE, OpenELEC y Arch Linux [38]. A continuación, se detallan los aspectos más importantes de cada una de ellas.

Raspbian

Raspbian es una distribución GNU/Linux creada en 2012, que se basa en una versión de Debian de código abierto, que ofrece herramientas y paquetes de software, tales como java, Mathematica o Scratch, específicos para la RPi. Actualmente hay disponibles tres versiones de Raspbian: Raspbian Jessie, Raspbian Jessie Lite y Raspbian Wheezy. Al ser una distribución de Linux de código abierto proporciona total libertad de uso del software, tanto para analizarlo, modificarlo y compartirlo con los usuarios.

NOOBS

NOOBS (*New Out Of the Box Software*) consiste en un instalador que incluye las distribuciones Raspbian y libreELEC, que permite instalar distintos sistemas operativos que existen para RPi, de manera más sencilla. Todo esto se hace sobre una tarjeta SD en la que se descarga el software y se siguen las instrucciones de pantalla. A parte de las distribuciones anteriormente mencionadas, NOOBS también puede incluir Pidora, OSMC, RISC OS y Arch Linux.

Ubuntu MATE

Ubuntu MATE es una de las distribuciones Linux más conocidas para el escritorio, debido a que proporciona a los usuarios mayor accesibilidad mediante su interfaz gráfica. Como la mayoría de las distribuciones Linux, se caracteriza por ser de software libre, permitiendo a los usuarios utilizarlo, modificarlo y compartirlo con los demás usuarios. Si se va a utilizar la RPi como dispositivo de computación de propósito general, Ubuntu puede ser la mejor distribución que se adapte a esta actividad.

OpenELEC

OpenELEC es una distribución Linux que se centra en las aplicaciones multimedia. Esta distribución fue creada con el propósito de generar un arranque rápido del sistema y facilitar su instalación. Además, estas distribuciones utilizan un sistema de archivos de sólo lectura para un mayor rendimiento y fiabilidad del sistema. Si se desea utilizar

la RPi como dispositivo multimedia para el hogar, esta distribución ofrece el mejor rendimiento.

Arch Linux

Arch Linux es una distribución de Linux ligera que tiene por objetivo ofrecer mayor simplicidad en el funcionamiento del sistema. Es una distribución de software libre y código abierto destinado a usuarios de Linux de nivel medio o avanzado a los que ofrece control total sobre el sistema. Sin embargo, comparada con otras distribuciones, en la actualidad ofrece menos soporte a los usuarios nuevos de Linux en la plataforma RPi.

Otras distribuciones

En los últimos años ha comenzado a aparecer otras distribuciones no basadas en Linux, como Windows 10 IoT Core y RISC OS. Sin embargo, actualmente tienen un soporte limitado y sus requisitos de programación son muy específicos en comparación con los que son exigidos por Linux.

3.1.4. Configuración y programación del dispositivo

El proceso de configuración de la Raspberry Pi permite controlar esta unidad desde cualquier dispositivo, y de este modo llevar a cabo tareas sobre ella. Para ello, es necesario asignar una dirección IP a la RPi para establecer la conexión con otros dispositivos. A continuación, se indican los pasos a seguir para configurar esta unidad:

- **Paso 1.** La configuración de la RPi se inicia con la conexión del microcontrolador a una red. Al enmarcarse este proyecto en la red de datos universitaria, es necesario dar de alta a la dirección MAC de la RPi a través del Servicio de Informática de la ULPGC, y de esta manera es posible asignarle una dirección IP.
- **Paso 2.** Mediante el editor de texto `nano`, se modifica el fichero `/etc/dhcpd.conf` con el comando `sudo nano/etc/dhcpd.conf`, introduciendo los siguientes datos en función de la dirección IP asignada:

```
# nombre de la interfaz:  
interface eth0
```

```
# dirección fija de la RPi:

static ip_address=10.26.10.97/24

# dirección del router:

static routers=10.26.1.1

# dirección DNS del router:

static domain_name_servers=10.26.1.1
```

- **Paso 3.** Para comprobar que la dirección IP estática se ha asignado correctamente al dispositivo, se utiliza el comando `ifconfig`. Tal y como aparece en la figura 3.2, la interfaz de red a la que se conecta la RPi se llama `eth0`.

```
pi@raspberrypi:~ $ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr b8:27:eb:0c:3e:29
          inet addr:10.26.10.97  Bcast:10.26.10.255  Mask:255.255.255.0
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:5486137 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:733638 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:709966686 (677.0 MiB)  TX bytes:156544429 (149.2 MiB)

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:538 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:538 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1
          RX bytes:42460 (41.4 KiB)  TX bytes:42460 (41.4 KiB)
```

Figura 3.2: Comprobación de asignación de IP estática

- **Paso 4.** Una vez comprobada la asignación de la dirección IP, se reinicia la RPi con el comando `sudo reboot` y se verifica, mediante `ifconfig eth0`, que realmente la red se ha configurado correctamente (figura 3.3).

```
pi@raspberrypi:~ $ ifconfig eth0
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr b8:27:eb:0c:3e:29
          inet addr:10.26.10.97  Bcast:10.26.10.255  Mask:255.255.255.0
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:5489767 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:734311 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:710470436 (677.5 MiB)  TX bytes:156718994 (149.4 MiB)
```

Figura 3.3: Comprobación de configuración de la red

- **Paso 5.** Finalmente, la comunicación con la RPi se establece mediante el comando `ssh pi@host`, donde `host` es la dirección IP asignada al dispositivo, además de introducir la contraseña que se le ha configurado. El protocolo SSH (*Secure SHell*) permite una conexión remota con la RPi y establece conexiones cifradas seguras

entre dispositivos en una misma red, por lo que se pueden ejecutar comandos y controlar la configuración y programación del dispositivo de forma remota.

3.2. Sensor PIR

3.2.1. Introducción

Los sensores PIR (*Passive Infrared Pyroelectric*) [39] son dispositivos electrónicos pasivos diseñados para la detección de movimientos dentro de un cierto rango, dependiendo de las características intrínsecas de cada dispositivo. Su funcionamiento se basa en la propiedad piroeléctrica de los materiales, de tal forma que si se detecta la radiación infrarroja de un cuerpo caliente, el sensor genera un pulso eléctrico para indicar la presencia o ausencia de movimiento en su rango de detección.

Los sensores PIR constan de dos elementos detectores conectados entre sí para detectar las variaciones en la radiación infrarroja recibida [40]. Si estos dos elementos reciben la misma cantidad de radiación, la señal resultante es nula, pero si la cantidad de radiación que reciben ambos elementos es distinta, se genera una señal eléctrica a la salida.

En este trabajo se ha empleado el sensor PIR HC-SR501, basado en el chip BISS0001, que genera un pulso digital a nivel alto en su salida ante la presencia de movimiento. Además, este sensor incorpora dos potenciómetros para ajustar externamente la sensibilidad y el tiempo de detección del dispositivo.

3.2.2. Fundamentos físicos del sensor PIR

En este punto se detallan los aspectos técnicos más importantes del sensor PIR HC-SR501 y las características que se deben tener en cuenta para la elección del dispositivo.

Módulo sensor PIR HC-SR501

Un sensor PIR genérico se compone de dos ranuras sensibles a la radiación infrarroja. Si se detecta la misma cantidad de radiación infrarroja, el sensor permanece inactivo, pero si un cuerpo que emite radiación entra en el rango de detección de estas ranuras, se produce una variación diferencial positiva entre ellas y se genera un pulso digital a la salida [41]. Además, cuando el objeto sale del rango de detección del sensor, la salida permanecerá activa durante un cierto tiempo, para finalmente volver a nivel

bajo.

El elemento detector de radiación infrarroja PIR LHI778 constituye la base del sensor PIR HC-SR501. Además, este sensor posee un controlador BISS0001 compuesto por amplificadores operacionales, que se encarga de recoger la señal de salida del sensor y procesarla para generar un pulso digital a la salida del sensor. Se trata de un sensor con un bajo consumo de potencia, que es ampliamente utilizado para la implementación de prototipos relativos a las IoT y sistemas automáticos [42].

Los pines de conexión de este dispositivo son los siguientes:

- **VCC**, que aplicando sobre él una tensión de 5 V es capaz de suministrar la alimentación necesaria al dispositivo.
- **GND**, que se conecta directamente a la tierra del dispositivo.
- **OUT**, donde se genera un pulso digital de 3.3 V para indicar la presencia o ausencia de movimiento en el rango de detección del dispositivo.

Además, el sensor PIR HC-SR501 incluye dos potenciómetros para ajustar su rango y tiempo de detección. Por un lado, el potenciómetro de ajuste de tiempo se encarga de mantener, durante un periodo de entre 3 segundos a 5 minutos, la salida a nivel alto en caso de haberse detectado la presencia de movimiento. Por otro lado, el potenciómetro de ajuste de sensibilidad se encarga de regular el rango de detección del sensor, cubriendo distancias desde 3 hasta 7 metros.

Adicionalmente, existen dos tiempos de espera que están asociados con los ajustes del sensor. Por un lado, para variar el tiempo de detección y ajustarlo a un valor determinado entre 3 segundos y 5 minutos con el potenciómetro, se utiliza el parámetro T_x que representa el tiempo de duración por el cual la salida permanece a nivel alto. El parámetro T_x está definido por la siguiente fórmula:

$$T_x = 24576 \cdot R_{10} \cdot C_6 \quad (3.1)$$

Por otro lado, existe el parámetro T_i que indica el tiempo de duración en el que la salida permanece inactiva. Este tiempo ya viene ajustado por el fabricante a 3 segundos, sin embargo, no se puede variar ya que no existe un potenciómetro para ello. El tiempo T_i viene definido por la siguiente fórmula:

$$T_i = 24 \cdot R_9 \cdot C_7 \quad (3.2)$$

Las fórmulas 3.1 y 3.2 están relacionadas directamente con el esquemático del circuito de la figura 3.4.

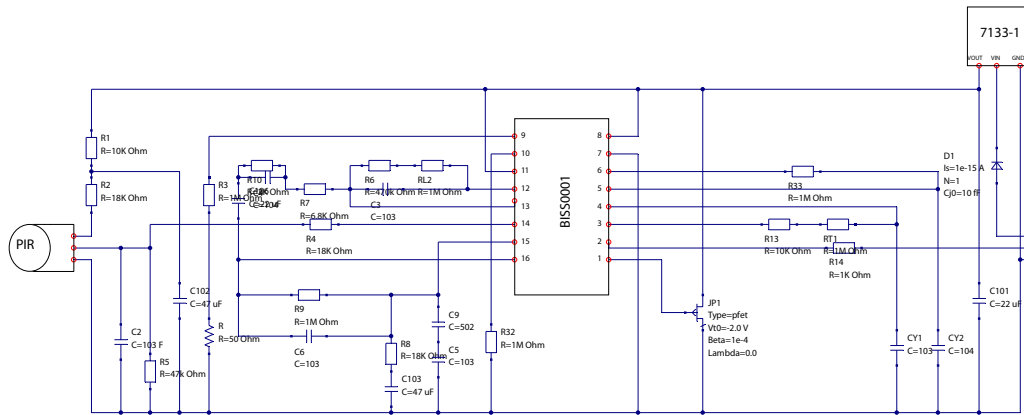


Figura 3.4: Circuito sensor PIR

Como se puede apreciar en la figura 3.5, cuando se detecta movimiento se dispara un flanco de subida que permanece activo durante el tiempo de detección T_x y transcurridos este tiempo el sensor se desactiva un tiempo de espera T_i , ignorando cualquier movimiento durante este intervalo.

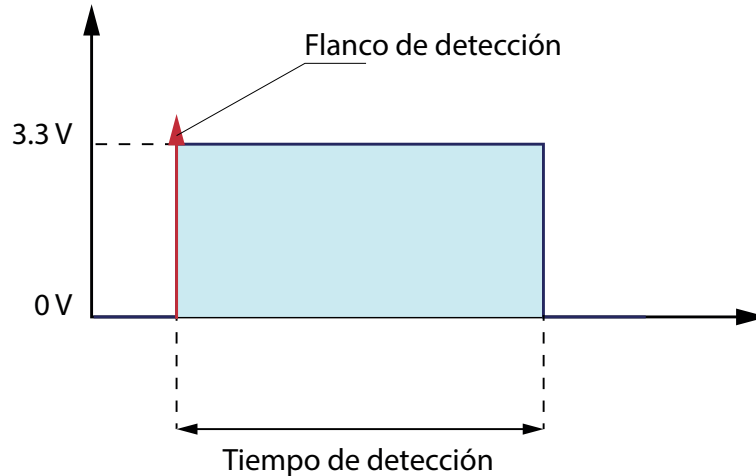


Figura 3.5: Gráfico del tiempo de detección

Por último, para configurar el modo alarma a la salida del dispositivo, se utiliza un jumper que establece la salida en modo *mono-disparo* o *multi-disparo*. En el modo mono-disparo, una vez se ha detectado movimiento, la salida permanece activa durante el tiempo de activación que se ha ajustado con el potenciómetro del sensor. Sin embargo, si se produce una segunda detección acabado el tiempo de activación, el sensor obviará este suceso. Por el contrario, el modo multi-disparo suma un tiempo de activación adicional cada vez que se detecta un nuevo evento durante el tiempo de activación.

Lente de Fresnel

Generalmente, los sensores PIR están recubiertos de una capa traslúcida denominada lente de Fresnel [43], que permite dividir el campo de detección en distintas áreas y focalizar la radiación infrarroja en cada una de ellas. Cuando el sensor capta la radiación infrarroja de un cuerpo, esta radiación es repartida por las distintas áreas de la lente de Fresnel para permitir la activación de la alarma de presencia de movimiento, mejorando considerablemente la sensibilidad del sensor.

En este trabajo, la lente de Fresnel utilizada es el NL-11NH [44], se trata de una pequeña lente fabricada con un material cristalino, que genera una carga eléctrica cuando se expone al calor en forma de radiación infrarroja, enfocando la radiación en el elemento detector del sensor. Esta lente actúa como un filtro de luz que detecta las longitudes de ondas específicas de la radiación infrarroja, aproximadamente de 9.4 micrones. El ángulo de detección del sensor lo proporciona la forma de la región de detección del sensor PIR, como se muestra en la figura 3.6. Esta lente posee un ángulo máximo de detección de 110° , permitiendo detectar con precisión un elemento, por lo tanto, cuanto más sensores PIR se utilizan, se puede dividir un espacio en más regiones diferentes y además se obtiene más precisión sobre la ubicación de los cuerpos que son captados.

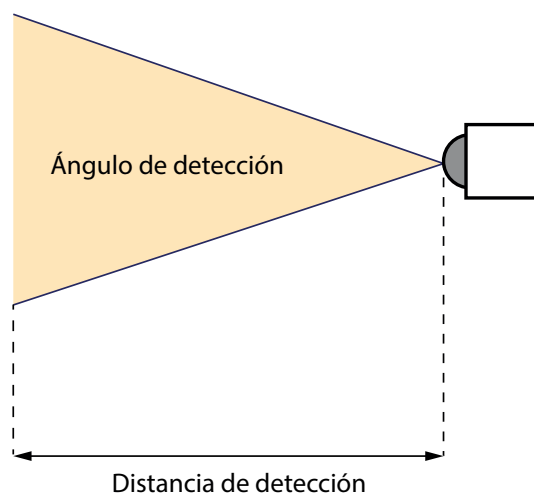


Figura 3.6: Ángulo de detección del sensor

3.2.3. Configuración e integración del sensor PIR

Para integrar el sensor PIR a la Raspberry Pi, se conectan los pines del sensor a la GPIO del microcontrolador, tal y como aparece en la figura 3.7. El pin 2 (PWR 5V) se conecta al pin VCC (+5V) del sensor, el pin 6 (GND) a la tierra (GND) del sensor y el pin 16 (GPIO23) a la salida (OUT) del sensor.

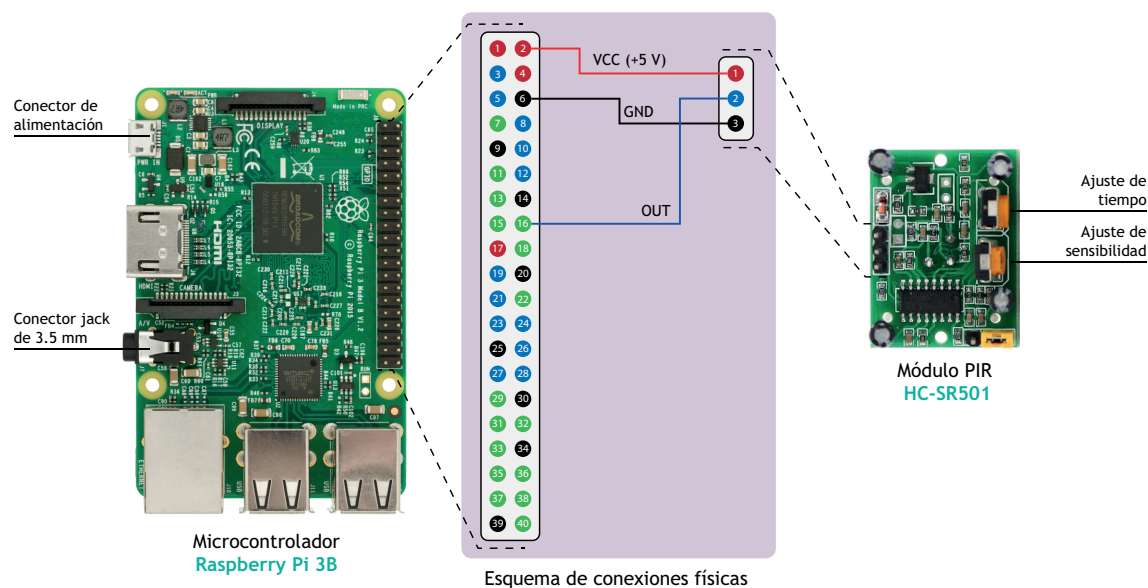


Figura 3.7: Esquema de conexionado RPi y sensor PIR

Una vez realizado el conexionado de la figura 3.7, se ajusta el tiempo de detección del sensor a un valor predeterminado T_x , empleando la ecuación 3.1, y girando el potenciómetro en la dirección adecuada. Para variar el ajuste de sensibilidad se realiza de manera aproximada, girando el potenciómetro correspondiente en dirección de la agujas del reloj para aumentar la sensibilidad al valor máximo o en sentido contrario para disminuirla al valor mínimo, como se indica en la figura 3.8.

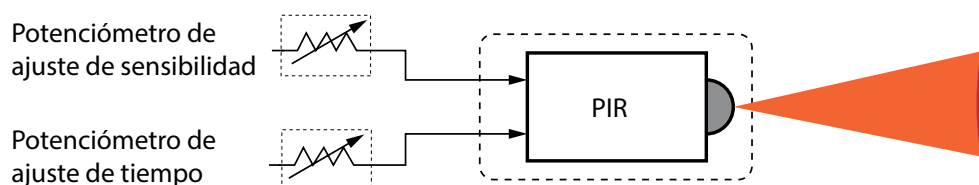


Figura 3.8: Ajuste de sensibilidad y tiempo de detección

3.3. Altavoz

3.3.1. Introducción

Ultimate Ears Wonderboom [45] es un altavoz con conexión Bluetooth diseñado para su uso tanto en espacios interiores como exteriores. Este altavoz cumple con el propósito de este trabajo, que consiste en la reproducción inalámbrica de una banda sonora. Se trata de un equipo con radiación acústica omnidireccional, lo cual permite obtener un sonido uniforme en todas las direcciones del espacio. En cuanto a su rango de alcance inalámbrico, este posee un área de reproducción móvil de hasta 33 metros, y permite emparejar hasta 8 dispositivos UE Wonderboom simultáneamente

para conseguir un sonido estéreo y más potente. En cuanto a calidad de sonido, tiene una respuesta uniforme en todo el rango de frecuencias audibles, con un sonido claro tanto en los agudos como en los graves, que se mantiene sin distorsión hasta el 85 % de su volumen máximo.

Por otra parte, es importante conocer los parámetros característicos del altavoz que permiten establecer criterios de selección entre distintos modelos de altavoces, como puede ser estudiar su comportamiento en el rango de frecuencias de interés. Estos parámetros son la *respuesta en frecuencia* y la *directividad*. Con este estudio se pretende comprobar que la respuesta en frecuencia del altavoz es lo más plana posible y, además, comprobar que al ser un altavoz de radiación acústica omnidireccional tenga una directividad uniforme en todas las direcciones.

3.3.2. Características técnicas

El altavoz UE Wonderboom [46] es un dispositivo portátil fabricado con un material de estructura plástica con recubrimiento de telas sintéticas. Tiene 2 transductores activos (40 mm) y 2 radiadores pasivos (45 mm x 65 mm), que le permiten reforzar las frecuencias graves en altavoces pequeños (102 mm - altura y 93.5 mm - diámetro), proporcionándole más claridad al sonido. Además, posee una sensibilidad de 86 dBc, con un consumo de potencia de 8.5 W, lo cual permite una autonomía de uso de 10 horas a un 50 - 70 % del volumen máximo.

Este altavoz tiene conectividad Bluetooth 4.1, que facilita la conexión con otros dispositivos que se encuentran dentro de su rango de alcance, permitiendo conectar hasta 8 dispositivos de forma simultánea con el altavoz. Asimismo, es compatible con otros dispositivos Bluetooth y Bluetooth AD2P (o de perfil de distribución de audio avanzado). Por otra parte, se caracteriza por su nivel de resistencia IPX7, que le ofrece protección contra golpes e impermeabilidad. En la figura 3.9 se muestra el altavoz con algunas de sus características principales, como el modo de reproducción, puerto físico para alimentación mediante microUSB, dimensiones, indicadores de conexión Bluetooth y de emparejamiento y control de volumen.

3.3.3. Respuesta en frecuencia y directividad

Con respecto a los parámetros de caracterización del altavoz, destacan la respuesta en frecuencia y la directividad. Debido a que la representación gráfica de estos parámetros no están proporcionados por el fabricante del altavoz, estos fueron obtenidos experimentalmente mediante las medidas que se presentaron en el capítulo 5 sobre la caracterización del altavoz, donde se desarrolla el funcionamiento de las pruebas

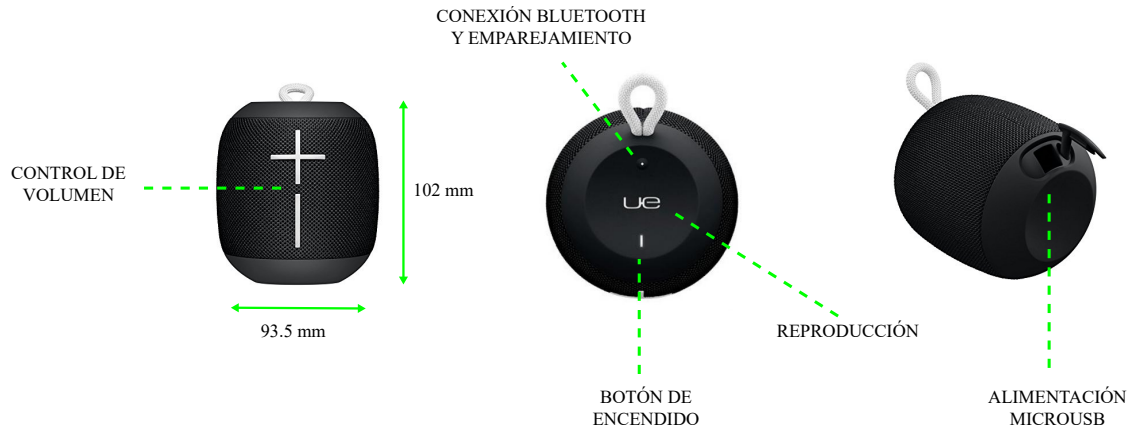


Figura 3.9: Características del altavoz Ultimate Ears Wonderboom

realizadas para la obtención de estos parámetros.

En la figura 3.10 se señala la representación gráfica de la respuesta en frecuencia para una orientación de 0° , 90° , 180° y 270° , en las cuales su rango de trabajo comprende de los 10 Hz - 20 kHz. Por tanto, la primera gráfica de la figura 3.10 representa el primer parámetro del altavoz, que es la respuesta en frecuencia a 0° , y las otras tres que se obtuvieron midiendo la respuesta en frecuencia del altavoz en distintas direcciones (90° , 180° y 270°), como se detalla en el capítulo 5, que indican la directividad del altavoz.

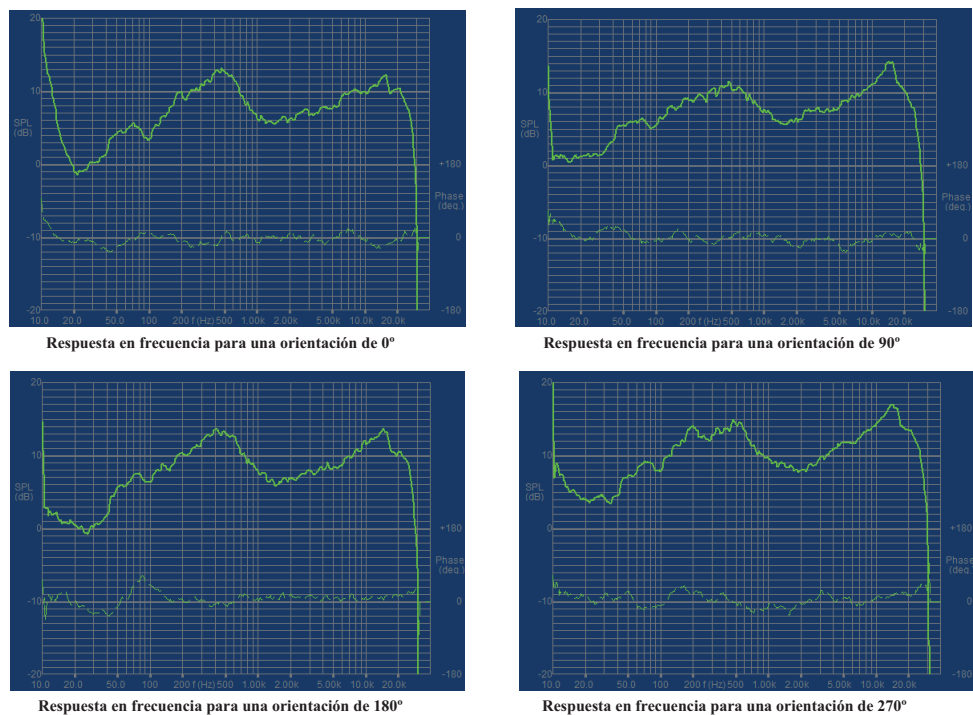


Figura 3.10: Respuesta en frecuencia y directividad del altavoz

3.4. Implementación del algoritmo

3.4.1. Introducción

En este apartado se explica el diseño del algoritmo que sustenta el sistema electroacústico para la reproducción de paisajes sonoros. Es necesario utilizar un método que traduzca el lenguaje de programación y establezca de una manera sencilla los pasos a seguir para la implementación del algoritmo, por lo que se presenta un *diagrama de flujo* [47] en la figura 3.11. Para indicar los pasos a seguir, se incluyen las explicaciones oportunas en cada etapa, así como el código en Python [48] asociado a las mismas.

3.4.2. Diseño del algoritmo

El funcionamiento del algoritmo se basa en la reproducción de audios a partir de la detección de movimientos. Mientras el audio se está reproduciendo, el sistema evalúa si sigue detectando movimiento durante un tiempo de espera o de detección, que tiene una duración igual a la del audio. Por tanto, cuando el audio se ha acabado y el sistema no ha detectado movimiento, no vuelve a reproducir el audio y se espera hasta detectar un nuevo movimiento, reiniciando el sistema. No obstante, cuando el audio se termina de reproducir y el sistema ha detectado movimiento, automáticamente se vuelve a reproducir el audio sin reiniciar el sistema. En la figura 3.11 se presenta el diagrama de flujo, que establecen una relación directa con el código en Python. Los pasos que describen el proceso de diseño del algoritmo son los siguientes:

- **Paso 1.** Se inicia la RPi y se comprueba si se tiene instalado todo lo necesario para programar en Python. Se debe verificar que está instalado Python mediante el comando `ls/usr/bin/python`. En caso de no tener Python instalado, se instala con el comando `sudo apt-get install python`. Para escribir el código, se debe instalar el editor de texto con el comando `sudo apt-get install gedit` o utilizar el editor de texto `nano`, que ya viene instalado por defecto.
- **Paso 2.** Una vez abierto el editor con el comando `nano nombreDelArchivo`, se importan las librerías que se utilizarán durante la ejecución del código. En este caso, se importa la librería `GPIO`, que permite controlar las entradas y salidas del bus GPIO, la librería `os`, que proporciona el acceso al funcionamiento del sistema operativo, la librería `time`, que permite controlar el tiempo de ejecución del programa, y la librería `pygame`, que maneja el contenido multimedia que se va a utilizar para la reproducción del audio. El código en Python asociado a este paso es el siguiente:

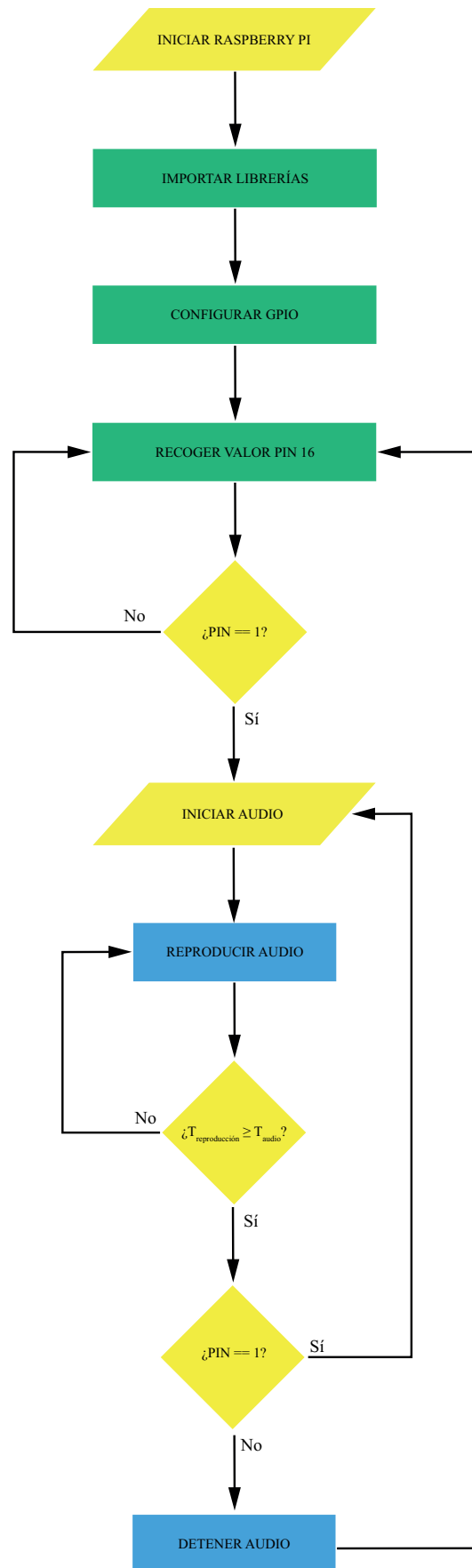


Figura 3.11: Diagrama de flujo

```
1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import os, time
3 import pygame
```

- **Paso 3.** Se configuran los pines de la GPIO como pines de entrada. Concretamente, se utiliza el pin 16 de la GPIO como entrada para obtener información sobre la detección de movimiento del sensor. El código en Python de este paso es el siguiente:

```
1 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
2 GPIO.setup(16, GPIO.IN)
```

- **Paso 4.** Se recoge en una variable el valor del pin 16, almacenándose así su resultado. Este valor debe leerse constantemente en un bucle, tal y como se observa en el código en Python asociado:

```
1 while 1:
2     value = GPIO.input(16)
```

- **Paso 5.** Dentro del bucle del paso anterior, se debe evaluar la condición sobre el valor del pin 16. Esta condición determina si el valor del pin es igual a 1, que implica que se inicie el audio y se reproduzca mediante una función llamada `playAudio`. En caso de ser igual a 0, se ejecuta la función `stopAudio` y se vuelve al inicio de lectura del valor del sensor en el bucle, tal y como indica el siguiente código en Python:

```
1 while 1:
2     value = GPIO.input(16)
3     if value == 1:
4         playAudio()
5     else:
6         stopAudio()
```

- **Paso 6.** Para configurar el tiempo de reproducción del audio, se añade un retardo igual al tiempo de duración de la pista de audio. De esta manera, si el tiempo de reproducción es mayor al tiempo de duración del audio, quiere decir que ha terminado de producirse. No obstante, si el tiempo de reproducción del audio no es mayor que el tiempo de duración, indica que todavía se está reproduciendo.

Por otro lado, siempre que la condición del tiempo de reproducción sea mayor que la duración del audio, se evalúa una tercera condición para determinar el valor del pin 16. Si este valor es igual a 1, vuelve a reproducirse el audio sin reiniciar el proceso de lectura, y si es igual a 0, se detiene completamente el audio para volver al inicio del bucle. El código en Python asociado a este proceso se resume de esta forma:

```
1     time.sleep(MAX_AUDIO)
2     elif value == 0:
3         stopAudio()
```

En el anexo [A](#) se presenta el firmware de control del prototipo donde se detalla la programación en Python que se ha llevado a cabo para la elaboración de este TFG.

Capítulo 4

Recreación del paisaje sonoro histórico

4.1. Introducción

La recreación sonora de un determinado paisaje histórico intenta *reproducir* un acontecimiento transcendental que permite sensibilizar al visitante sobre el espacio o recinto donde se produce [49]. En este apartado es necesario crear una narrativa sonora que recoja los sucesos más destacados del ataque de Van der Does, y se utiliza como contexto para llevar a cabo la recreación sonora. Además, esta narrativa incluye elementos acústicos distinguidos para resaltar el relato, otorgándole un mayor interés al espectador. Asimismo, esta información da pie a la elaboración de un guión de sonido, en el que se recojan todos los elementos sonoros que componen la producción sonora realizada.

Por otro lado, el término de *ambientación sonora* es el proceso que abarca la caracterización acústica de todos los sonidos asociados a un lugar, que en el caso de este trabajo se corresponde con el uso de herramientas que favorezcan, mediante la estimulación de la percepción auditiva, una experiencia más realista sobre el visitante [50]. En esta definición también se incluyen los efectos o elementos sonoros necesarios para poder crear un paisaje sonoro adecuado para el fundamento histórico de este trabajo. Además, para la aplicación de la ambientación sonora se emplea un sistema electroacústico que cumple con las condiciones técnicas y acústicas del recinto. A lo largo de este capítulo se habla del *sistema de ambientación sonora* para referirse al sistema electroacústico que se ha utilizado para la reproducción del paisaje sonoro, así como su distribución sobre el lugar a recrear. En definitiva, en esta sección se intenta crear la ambientación sonora histórica del ataque de Van der Does, aplicado al Museo del Castillo de Mata, teniendo en cuenta tanto los sucesos que realmente ocurrieron como los que se intuye que pudieron desarrollarse en este lugar y momento histórico.

Por último, una vez establecidos tanto el marco teórico como las características técnico-acústicas para el desarrollo de este trabajo, se finaliza el capítulo con la elaboración de la producción sonora, que tiene como pauta el guión de sonido desarrollado previamente. Para la creación de esta producción sonora se utilizará el software Pro Tools [51], una estación de trabajo de audio digital DAW (*Digital Audio Workstation*), disponible para Windows y macOS, que permite la producción musical con un máximo de 256 canales de audio. Esta plataforma se utiliza para realizar la grabación, edición y mezcla de los sonidos que van a componer la banda sonora.

4.2. Estructura de la narrativa

Para comenzar este capítulo, se va a desarrollar la narrativa sobre el ataque del capitán Van der Does, concretamente durante el asedio y toma de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. En este apartado se presenta la información historiográfica del suceso, así como la narración del acontecimiento de forma ordenada y estructurada, distinguiendo tres fases: *planteamiento*, *nudo* y *desenlace*. Con respecto a la organización del relato, destacan los momentos de mayor dramatismo y sorpresa que permitan captar la atención del visitante. Para ello, se tiene especial atención en la recreación de aquellos sucesos sonoros que le aportan a la narrativa un mayor sentido de apreciación y de percepción auditiva. Posteriormente, se elabora un guión de sonido donde se incluyen todos los elementos sonoros descritos en la narración.

4.2.1. Sucesos sonoros del ataque de Van der Does

Para la elaboración de la narrativa, se ha tomado la libertad de relatar el acontecimiento con un estilo drámatico, añadiendo sucesos sonoros creativos que, según el contexto del relato, pueden haber ocurrido. Entre los diferentes elementos acústicos que aparecen a lo largo de la narración se distinguen, por un lado, los *sonidos reales*, que se resaltan en cursiva y por otro lado, los *sonidos creativos*, marcados en negrita. A continuación, se presentan los hechos sobre los que se lleva a cabo la recreación histórica de este trabajo, detallándose los elementos sonoros señalados.

“Una vez los holandeses desembarcan en la costa de la isla y toman la Fortaleza de Las Isletas, se disponen a asaltar la ciudad de Las Palmas. Mientras, en la ciudad se comienzan a *oír las campanadas* tocadas a rebato en señal de alerta, que provenían tanto de las ermitas más cercanas, como la de San Telmo situada dentro de la muralla y las de Espíritu Santo y San Sebastián, externas a la muralla. Las campanadas que provenían de la Catedral de Santa Ana se oyeron en menor medida puesto que la

distancia al Cubelo de Mata era considerable. Los dos guardias que permanecían en lo más alto de la muralla pudieron divisar a la armada holandesa acercándose a la ciudad con mucha ímpetu. Entonces, uno de ellos avisa a voz de grito a las milicias, *¡Cerrad y tapiad la puerta de la muralla!*.

Las milicias acatando la orden acuden a *cerrar de un portazo la puerta de Triana de la muralla* (un portón de madera y hierro). Justo en el momento en que la puerta se cierra, **un cañonazo estruendoso se dispara** desde posiciones holandesas hacia la ciudad y, **los disparos de arcabuces y mosquetes** que empiezan a barrer lo alto de la muralla y el Cubelo se comienzan a hacer eco entre la población. Ante ello, la multitud empieza a **gritar despavoridos**, llegándose a **escuchar ladridos, niños gritando y el llanto de una madre y su bebé**. En medio de todo **el ruido provocado por el intercambio de disparos**, Alonso Alvarado anima a los suyos para iniciar la batalla con los holandeses, gritando *¡Canarios canarios, que habéis de ganar mucha honra degollando al enemigo!* y simultáneamente *se dispara un cañonazo desde el Cubelo* hacia posiciones holandesas, **provocando heridos y estampida de caballos**. Mientras *los holandeses intentan derribar la puerta de la muralla*, las milicias canarias les **responden con arcabuces, mosquetes, lanzas y cuchillos**. Aunque, *los holandeses logran entrar a la ciudad* por la puerta de Triana, un grupo de milicias les espera con mucha furia y vigor, amenazándoles con el grito, *¡Ea, sus, a ellos!*. Esto desencadena en una *lucha a muerte* entre los dos bandos, mientras que se siguen **escuchando disparos de cañones y arcabuces** entre el barullo.

Finalmente, un **estruendoso cañonazo es disparado por los holandeses e impacta en un sector de la muralla** dejándola destruida y a varias personas heridas. Posteriormente, el gobernador Antonio Pamochoamoso concluye diciendo con voz enérgica y profunda, *¡Por España y por la fé, vencimos al holandés!*".

4.2.2. Guión de sonido

Una vez descritos los eventos sonoros de este trabajo, cabe señalar que una producción sonora consta de un guión de sonido, donde se cita de forma temporal todos los elementos acústicos necesarios para la realización de la ambientación sonora y de esta forma, provocar una reacción emocional sobre el visitante [52]. En la elaboración de este guión se incorpora: la numeración correlativa de las secuencias sonoras, la descripción de los elementos acústicos y la duración temporal de cada secuencia sonora.

A continuación, la tabla 4.1 correspondiente al *Guión de Sonido* describe por orden secuencial todos los elementos acústicos que se incluyen en la producción sonora, tanto

en los instantes previos al asedio de la ciudad como los momentos en los que se produce la entrada a la ciudad y el enfrentamiento cuerpo a cuerpo. Para ello, se añaden tanto los sonidos reales de la narrativa como los posibles sonidos que se pudiesen haber generado por el contexto del acontecimiento. Además, en este guión pueden diferenciarse tres escenarios concretos en los que se desarrolla la acción: *El Cubelo de Mata*, *La ciudad de Las Palmas* y *La Fortaleza de Las Isletas*. Sin embargo, todos los elementos sonoros descritos en el guión se ubican perceptiblemente en el Cubelo de Mata.

Tabla 4.1: Guión de sonido

Secuencia	Sonido	Duración
Nº1	Diferentes tonalidades de campanas se tocan a rebato a lo lejos desde iglesias y hermitas.	13 seg.
Nº2	Un guardia desde la muralla grita, <i>¡Cerrad y tapiad la puerta de la muralla!</i> .	3 seg.
Nº3	La puerta de Triana se cierra de un portazo.	2 seg.
Nº4	Un cañonazo estruendoso es disparado hacia la ciudad de Las Palmas.	3 seg.
Nº5	Los disparos de arcabuces barren lo alto del Cubelo y de la muralla.	20 seg.
Nº6	La multitud comienza a gritar despavoridos ante los disparos.	17 seg.
Nº7	A lo lejos se escuchan ladridos, una mujer y su bebé llorando y niños gritando.	14 seg.
Nº8	Ruido por el intercambio de disparos en la ciudad.	22 seg.
Nº9	Alonso Alvarado grita, <i>¡Canarios, canarios, que habéis de ganar mucha honra degollando al enemigo!</i> .	5 seg.
Nº10	Un fuerte cañonazo es disparado desde el Cubelo a los holandeses.	2 seg.
Nº11	Se produce una estampida de caballos a causa de la explosión producida.	4 seg.
Nº12	Los holandeses intentan derribar la Puerta de Triana con un ariete.	5 seg.
Nº13	Las milicias responden con arcabuces, lanzas y cuchillos.	7 seg.
Nº14	Los holandeses logran entrar en la ciudad.	3 seg.
Nº15	Las milicias lanzan grito de guerra, <i>¡Ea, sus, a ellos!</i> .	3 seg.
Nº16	Lucha cuerpo a cuerpo entre defensores y atacantes.	6 seg.
Nº17	Se oyen disparos de cañones y arcabuces en la lejanía.	2 seg.

Nº18	Un estruendoso cañonazo es disparado por los holandeses que estalla en la muralla.	3 seg.
Nº19	El gobernador Antonio Pamochoamoso dice enérgicamente, <i>¡Por España y por la fe, vencimos al holandés!</i> .	4 seg.

En la tabla 4.2 se diferencian, por un lado, los sonidos reales que son propios del acontecimiento y por otro lado, los sonidos creativos que posiblemente ocurrieran en relación con el contexto histórico.

Tabla 4.2: Tabla comparativa entre sonidos reales y creativos

Sonidos Reales	Sonidos Creativos
Diferentes tonalidades de campanas se tocan a rebato a lo lejos desde iglesias y hermitas.	Un cañonazo estruendoso es disparado hacia la ciudad de Las Palmas.
Un guardia grita, ¡Cerrad y tapiad la puerta de la muralla!	Los disparos de arcabuces barren lo alto del Cubelo y de la muralla.
La puerta de Triana se cierra de un portazo.	La multitud comienza a gritar despavoridos ante los disparos.
Alonso Alvarado grita, ¡Canarios, canarios, que habéis de ganar mucha honra degollando al enemigo!	Se escuchan a lo lejos, ladridos, una mujer y su bebé llorando y niños gritando.
Un fuerte cañonazo es disparado desde el Cubelo a los holandeses.	Ruido por el intercambio de disparos en la ciudad.
Los holandeses intentan derribar la puerta de Triana con un ariete.	Se produce una estampida de caballos a causa de la explosión producida.
Los holandeses logran entrar a la ciudad.	Las milicias responden con arcabuces, lanzas y cuchillos.
Las milicias lanzan grito de guerra, ¡Ea, sus, a ellos!	Lucha cuerpo a cuerpo entre defensores y atacantes.
El gobernador Antonio Pamochoamoso dice enérgicamente, ¡Por España y por la fe vencimos al holandés!	Se oyen disparos de cañones y arcabuces en la lejanía.
	Un estruendoso cañonazo es disparado por los holandeses que estalla en la muralla.

4.3. Sistema de ambientación sonora

El ambiente sonoro es aquel que permite contextualizar y ubicar al visitante sobre el recinto donde se está desarrollando un acontecimiento. Este concepto hace referencia al conjunto de sonidos que el receptor percibe desde las fuentes sonoras, condicionados por el ambiente en el que se generan, y puede ser *real* o *simulado*, *exterior* o *interior* y *experimentado* o *recordado* [53]. Además, trata efectos que generan estos sonidos, artísticos y/o reales. En el caso de este trabajo, se generan efectos de sonidos reales, investigados y documentados por historiadores, sobre el acontecimiento histórico correspondiente al ataque de Van der Does, descritos en la tabla 4.2. Por otro lado, se generan sonidos artísticos creativos que se obtienen por el contexto del acontecimiento histórico reproducido.

En la ambientación sonora de un recinto es importante plantear previamente la creación de los distintos paisajes donde se desarrolla la difusión del sonido. En este trabajo, se pueden distinguir tres tipos de paisajes sonoros. El primero se genera desde el *Cubelo de Mata*, el segundo desde la *ciudad de Las Palmas de Gran Canaria* y el tercero, desde la *Fortaleza de Las Isletas*. Tanto el segundo como el tercer paisaje sonoro son percibidos desde el Cubelo, donde se pretende enfocar de forma perceptiva la recreación acústica sobre el resto de paisajes sonoros.

Por otro lado, se deben tener en cuenta las condiciones acústicas del recinto antes de realizar la ambientación sonora. En este caso, el recinto se sitúa en el exterior del Castillo de Mata, y por lo tanto, no se considera la reverberación del recinto dado que la difusión del sonido no se produce en un entorno cerrado. Por esta misma razón, tampoco se tiene en cuenta el aislamiento acústico.

Las dimensiones del recinto también son de gran importancia, pues de ellas depende la cantidad de potencia aplicada. De esta manera, uno de los aspectos fundamentales que se debe cuidar en un recinto es la creación de *espacialidad del sonido*. La percepción acústica del ser humano es *estereofónica*, lo que le permite recrear una imagen tridimensional del espacio sonoro. Sin embargo, la ambientación de salas de museo suele realizarse en modo *monofónico* por diversos canales, generando una sensación de omnipresencia sonora que dificulta que el visitante identifique con exactitud la procedencia de la fuente [54]. En este trabajo, la ambientación sonora se realiza en la Casa Mata, situada en el exterior del Museo Castillo de Mata, como se observa en la figura 4.1.

Asimismo, se va a tener en cuenta dos factores que influyen en la caracterización de la producción sonora: el *factor sorpresa* que debe generar hacia el visitante y el *tiempo de duración* de la banda sonora.



Figura 4.1: Foto del Museo Castillo de Mata

- **Factor sorpresa:** la banda sonora que se reproducirá debe ser inesperada por el visitante, y además debe ajustarse apropiadamente a los momentos que despierten mayor atención y sorpresa en el espectador.
- **Tiempo de duración:** la duración de la banda sonora no debe ser demasiado larga, sino con una duración entre 1 y 1.5 minutos, para así favorecer el factor sorpresa sobre el visitante sin saturarlo acústicamente. Además, la banda sonora no debe estar todo el tiempo en modo reproducción.

Y además, el sistema electroacústico a utilizar debe contemplar las siguientes condiciones técnicas para la recreación del paisaje sonoro:

- **Control automático de activación:** el sistema debe activarse de forma automática cuando se detecte un movimiento.
- **Reproducción estéreo:** se debe utilizar un sistema de dos canales para la reproducción de la banda sonora.
- **Capacidad de mimetismo:** el sistema de ambientación sonora debe estar oculto al visitante en el recinto donde se va a recrear.

Teniendo en cuenta los requisitos anteriores, se ha elegido el sistema electroacústico compuesto por dos canales sonoros, descrito en el capítulo 3.

4.3.1. Mimetismo

Tal y como se ha comentado, la ubicación que se ha elegido para implementar el sistema electroacústico es la Casa Mata, tal y como aparece en la figura 4.2, puesto que es un lugar que proporciona varias opciones para decidir la distribución del sistema en puntos estratégicos del recinto. Además, esta zona de la Casa Mata, al estar separada del Cubelo, permite captar con facilidad la atención del visitante, aportando mayor invisibilidad y sorpresa del sistema de ambientación sonora hacia el espectador.

Según la arquitectura del lugar, existen diferentes posiciones estratégicas donde se puede implantar el sistema electroacústico, como se aprecia en la figura 4.2, en la que resaltan dos orificios en las paredes, uno más notorio en la parte lateral de la puerta de cristal, producto de uno de los cañonazos recibidos por el ataque holandés, y otro no tan grande en el suelo por la parte del balcón que comunica con el desagüe, que se encuentra en la Casa Mata. Por tanto, estos orificios en la construcción del lugar son apropiados para mimetizar los altavoces, permitiendo adaptar el espacio sonoro a la posición en la que se encuentra el visitante. Además de estos dos puntos estratégicos, otra opción que permite posicionar los altavoces y el sistema de captación de movimiento se encuentra por encima de la puerta de cristal, sujetos a las paredes. Sin embargo, esta solución es menos viable por su complejidad de agarre para los altavoces a las paredes, lo que implicaría una actividad invasiva sobre este recinto arqueológico.

Por otra parte, cabe destacar que uno de los factores que condiciona el lugar de ubicación del sistema de ambientación sonora es el ámbito de la seguridad, es decir, si el sistema es fácil de localizar y se encuentra a la vista del visitante. Esto implica poner en peligro el dispositivo electroacústico ante actos de vandalismo y hurto, por lo que a la hora de decidir la ubicación del prototipo se debe tener en cuenta este factor, además de la invisibilidad y la protección ante inclemencias meteorológicas.



Figura 4.2: Puntos estratégicos de la Casa Mata

Teniendo en cuenta estas posibles situaciones para la ubicación del sistema de am-

bientación sonora en el recinto, se contemplan tres opciones que se adecúan a las características acústicas, arquitectónicas y estratégicas del lugar. Estas opciones son las siguientes:

- **Opción 1:** ubicar un altavoz en el orificio que se encuentra en la parte inferior del desagüe y otro altavoz en el orificio de la pared. De esta manera, es posible aprovechar el estéreo mediante los dos canales cuando el visitante se sitúa en el centro del espacio sonoro. Asimismo, se pretende colocar el sistema electrónico de captación de movimiento en el orificio de la pared, con el sensor apuntando hacia el frente, y así poder cubrir toda la zona donde se encuentre el visitante en función del ángulo de detección del sensor. Para mimetizar la presencia de los altavoces y el sistema electrónico, se propone utilizar rejillas metálicas con perforaciones que dejen pasar el sonido proporcionado por los altavoces.
- **Opción 2:** colocar los dos altavoces por encima de la puerta de cristal, sujetos con un material de tablas de maderas que se encuentren sostenidas a las paredes. De esta manera, se pretende mimetizar los altavoces en lo más alto de la puerta para que el visitante no pueda visualizarlo a simple vista. Además, el sistema electrónico puede posicionarse tanto en el orificio de la pared como en la zona donde se coloquen los altavoces, puesto que el área de alcance del sensor abarca hasta 7 metros. Sin embargo, una de las desventajas que se presenta en esta situación es que el sonido propagado por el recinto es el sonido reflejado, que proviene de la reflexión con el cristal de la puerta.
- **Opción 3:** situar un altavoz por encima de la puerta de cristal, sujetos sobre una tabla, al igual que la opción anterior. La diferencia es que el otro altavoz se sitúa en el orificio de la pared junto con el sistema electroacústico, y se mimetiza mediante rejillas metálicas con perforaciones.

Por tanto, teniendo en cuenta las opciones anteriores, se determina que la *opción 1* es la más adecuada debido a la facilidad de mimetismo del sistema electroacústico, sin necesidad de utilizar excesivos materiales para su construcción y así, aprovechar el sonido estéreo de los altavoces. Además, tiene la ventaja de que el sonido percibido por el visitante en el espacio acústico es el sonido directo que proporcionan los altavoces. En la figura [4.3](#) se muestra una recreación de la instalación del prototipo en el Casa Mata, donde se sitúan el altavoz Bluetooth, el microcontrolador y el sensor infrarrojo en el orificio de la pared, aprovechando la arquitectura del lugar y mimetizándolos con una rejilla metálica. El otro altavoz se ubica en el orificio del suelo que se corresponde con el desagüe de este recinto, utilizando el material de rejilla metálica que sirve para camuflar el altavoz.

Es importante destacar que la posición de este altavoz en el desagüe está condicionado por los factores climáticos como la lluvia. Sin embargo, esto no supone un problema para su funcionamiento, ya que las características técnicas del altavoz aportan impermeabilidad, permitiendo la reproducción del sonido con normalidad cuando está mojado o flotando en el agua. Por otro lado, como se aprecia en la ilustración de la figura 4.3, el sensor infrarrojo se ubica por fuera del orificio a la vista del visitante. No obstante, este se camufla con los cables del alumbrado que se encuentran debajo del orificio de la pared, como aparece en la figura 4.2.

Por último, cuando el visitante se sitúe en el centro del recinto de la figura 4.3, se activará el sensor infrarrojo enviando un estado binario al microcontrolador para reproducir la banda sonora mediante los altavoces conectados por Bluetooth a la Raspberry Pi. De esta manera, el visitante percibirá el sonido estéreo que proviene de los altavoces ocultos en los orificios, sin percatarse de su presencia.

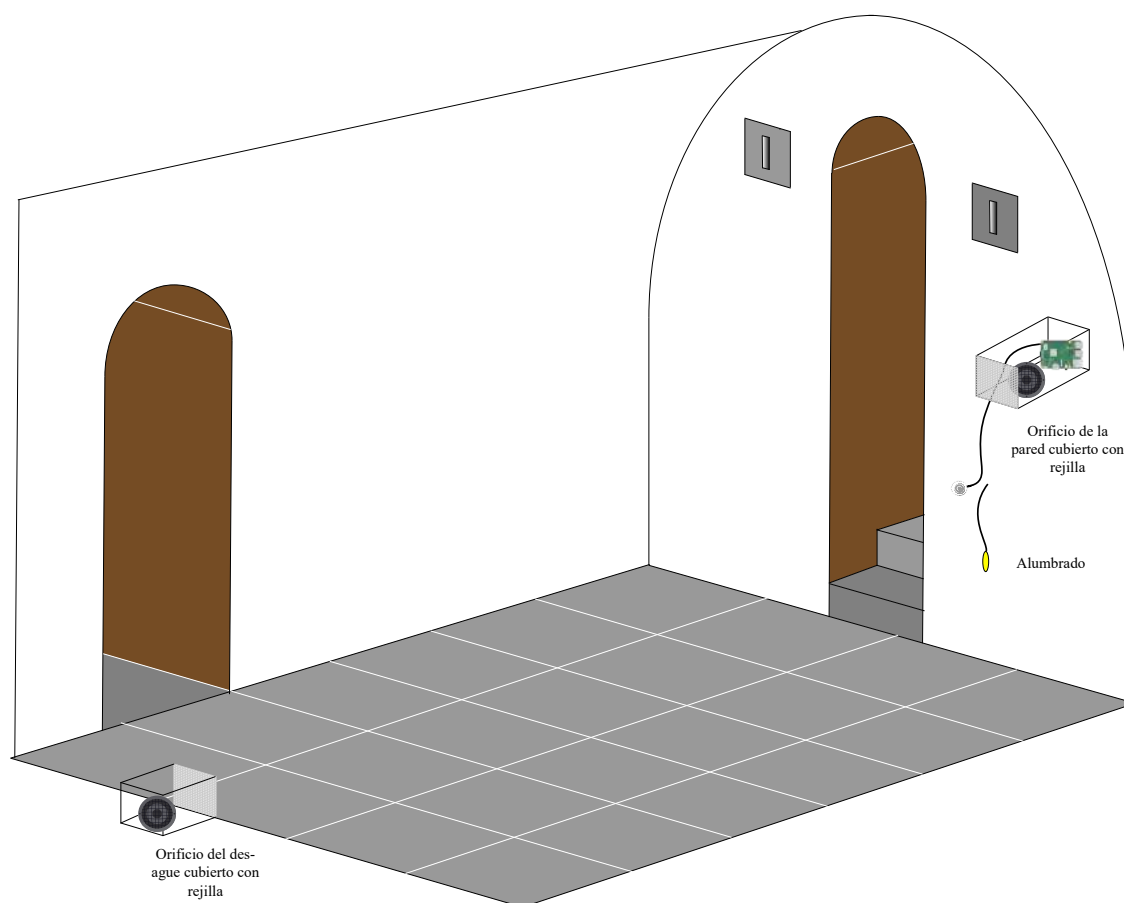


Figura 4.3: Implantación del prototipo en la Casa Mata

4.4. Realización de la producción

La producción sonora es la parte que complementa a la narrativa, y proporciona un modo diferente de percibir el relato histórico. Asimismo, permite al visitante imaginar la situación que se está recreando, proporcionándole una idea acerca de la época, el lugar y el lenguaje, y depende de la sensibilidad acústica del espectador. Generalmente, una banda sonora esta compuesta por diferentes elementos acústicos, como pueden ser la música, los ruidos o efectos sonoros, los diálogos y el uso del silencio [55]. Sin embargo, en este caso, al tratarse de una producción sonora breve y sencilla, no se incluye la música.

A partir del análisis realizado sobre la historia de la narrativa y considerando los elementos acústicos propuestos en el guión de sonido, se plantea la necesidad de generar una producción sonora mediante un banco de sonidos, que representa el *paisaje sonoro histórico*, reproducido en el Museo Castillo de Mata. Este banco de sonidos se compone de dos tipos de elementos sonoros:

- **Sonido real:** aquellos que representan las características de un acontecimiento, proporcionadas por investigaciones de historiadores sobre este marco histórico.
- **Sonido creativo:** elementos que son creados por el autor mediante situaciones supuestas o imaginadas que guarden relación con el evento histórico recreado.

En relación con el banco de sonidos se ha elaborado la tabla 4.2, donde se distinguen los sonidos reales de los sonidos creativos a tener en cuenta durante la realización de la producción sonora. En esta tabla también se incluyen los diálogos que se han sido grabados para la postproducción. Además, es imprescindible que esta banda sonora contenga elementos acústicos de alta calidad, tanto de los obtenidos en los bancos de sonidos como los de las grabaciones de audios, para lograr representar la situación con el mayor realismo posible.

Por otro lado, el proceso de realización de la banda sonora implica una serie de pasos o fases que deben seguirse para lograr dar respuesta a las necesidades requeridas. Estas fases que son dependientes entre ellas son las siguientes:

- Grabación de las voces
 - Edición de las pistas de audio
 - Proceso de mezcla
 - Masterización de la mezcla
-

A continuación, se describen detalladamente cada una de estas fases que constituyen la elaboración de la producción sonora.

4.4.1. Grabación de las voces

El proceso de grabación de las voces consiste en seleccionar una cantidad de personas de distinta índole para grabar las frases descritas en el guión de sonido, permitiendo hacer una comparación de los resultados obtenidos para su posterior selección. Es importante tener en cuenta la situación histórica sobre la que se van a grabar las voces, poniendo en contexto a las personas participantes en la grabación para obtener una producción sonora lo más realista en relación con la narrativa y el momento histórico. Para ello, el locutor debe pronunciar las frases como si estuviera viviendo en primera persona el acontecimiento, proyectando una voz clara y de intensidad media o alta si la situación lo requiere.

En este trabajo se han elegido aleatoriamente a 10 personas del entorno universitario, tanto a profesores como alumnos, que fueron grabados para realizar esta parte de la producción sonora. El proceso de grabación se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Sonido de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica (EITE), en el Campus de Tafira, un recinto insonorizado y acondicionado acústicamente para la reproducción y grabación de sonidos, que incluye una sala de control y otra de grabación (figura 4.4).



Figura 4.4: Laboratorio del estudio de grabación

Los locutores han realizado la grabación de los audios desde la sala de grabación, posicionándose a una distancia de medio metro del micrófono para realizar las grabaciones que implican elevar la voz (tres primeras frases), y más cerca cuando el volumen de voz es normal (última frase). De esta manera, se han grabado a todos los locutores pronunciando las mismas cuatro frases que proyecta el guión de sonido, y así poder elegir los audios más realistas para la banda sonora.

Por otro lado, la instrumentación técnica utilizada para la grabación de la voces y la reproducción de los audios son las siguientes:

- Software Pro Tools
- Mesa de mezcla Digidesign Digi 002
- Monitores profesional de estudio Mackie MR8 MK2 Active Studio Monitor
- Micrófono de condensador Audio-Technica AT2020
- Filtro anti-pop Samson PS01
- Auriculares AKG K-240 Studio

El esquema de conexionado de los equipos utilizados para el proceso de grabación se muestra en la figura 4.5.

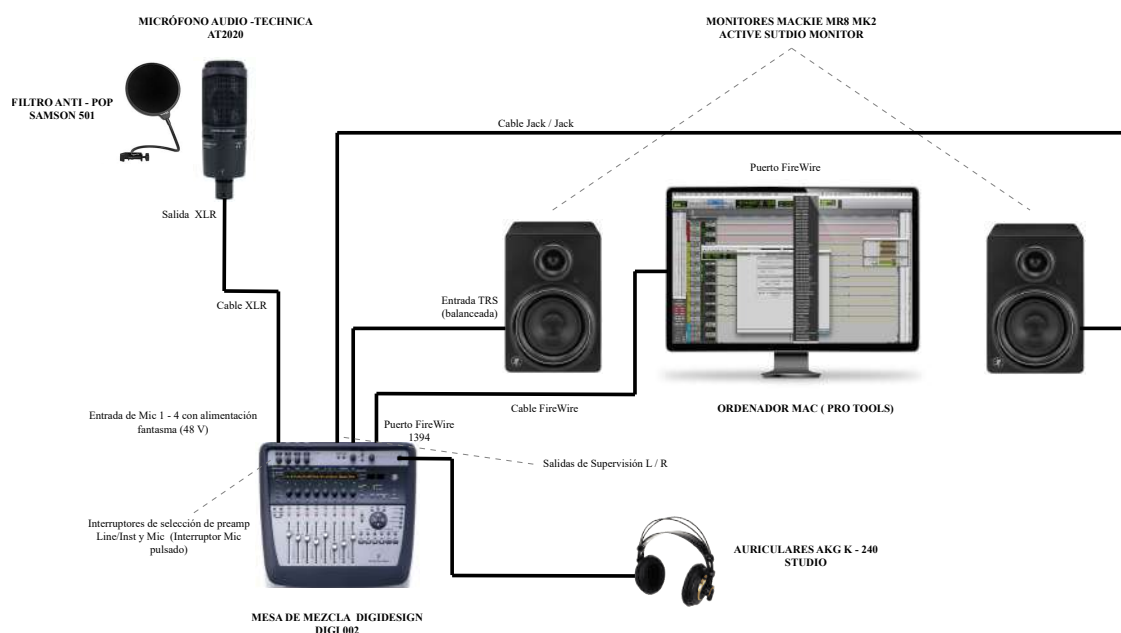


Figura 4.5: Esquema de conexionado de los equipos de grabación

Cuando la sesión de Pro Tools se haya creado, se procede a grabar las voces asignándole un canal de audio y otro para la intercomunicación entre el ingeniero de sonido y el locutor. En la imagen 4.6 se observa la forma de onda de algunos de los audios grabados sobre canales independientes, que muestran la grabación de las tres frases que aparecen en el guión de sonido.



Figura 4.6: Grabación de las voces

4.4.2. Edición de las pistas de audio

Una vez definidos los sucesos sonoros propuestos en la tabla 4.2 se lleva a cabo una búsqueda de sonidos en diferentes fuentes para la selección y organización de las pistas de audio incluidas en la banda sonora. Para ello, se ha tenido en cuenta especialmente la calidad de los audios para favorecer una buena mezcla de los sonidos.

Por otro lado, en la etapa de edición de las pistas se pretende corregir los audios, ajustándolos a la base de tiempo para que suenen de forma síncrona. Este proceso consiste en ordenar y preparar las pistas de audio, eliminando todos los sonidos innecesarios para la mezcla. En la ventana de edición de Pro Tools se pueden realizar acciones básicas como copiar, mover, pegar o cortar audios, realizar fundidos (*fade in*, *fade out*), entre otras. Otra opción que admite la etapa de edición es la automatización de volumen, que permite modificar los niveles de volumen en toda la duración de la pista de audio, o en ciertos instantes de tiempo. También existe una función práctica denominada edición de grupos, que permite crear conjuntos de pistas para determinados canales y editarlos de forma conjunta. Además, se pueden realizar tareas de ecualización y de efectos de sonido empleando los *plugins* de este software, aunque conviene aplicar estas funciones en la etapa de mezcla.

En la ventana de edición de la sesión de Pro Tools creada, se importan todos los audios que componen la banda sonora, y se les asigna un canal de audio a cada uno (figura 4.7). Esta producción sonora está compuesta por 29 pistas de audio, divididas

en 6 grupos. En la figura 4.7 se distinguen estos grupos mediante colores, y son los siguientes:

- **Campanas:** compuesto por 5 pistas de audio (1 mono y 4 estéreo) sobre diferentes tonalidades de campanas de iglesias y conventos tocadas a rebato.
- **Voces:** posee 4 pistas de audio mono de la voces que fueron grabadas y que interpretan las frases del guión de sonido.
- **Cañones:** contiene 7 pistas de audio (3 mono y 4 estéreo) de los diferentes disparos de cañones y arcabuces que aparecen a lo largo de toda la banda sonora.
- **Ataques:** tiene 2 pistas de audio estéreo acerca de los dos momentos de asedio que representan el ataque al Cubelo y a la Puerta de Triana, así como a la entrada de la ciudad. En ellos aparecen gritos de lucha, gente corriendo, golpes a la puerta con tronco, etcétera.
- **Gritos:** son 8 pistas (1 mono y 7 estéreo) del ruido que se produjo en la ciudad ante el ataque holandés. Se aprecian llantos de mujer, llantos de bebé, gritos de niños, ladridos y gritos de lucha.
- **Caballos:** 2 pistas de audio mono sobre caballos relinchando, asustados por los disparos.



Figura 4.7: Edición de las pistas de audio

Además de estos grupos, existe una pista individual estéreo que incluye el portazo del cierre de la Puerta de Triana. En cuanto a la acústica de los grupos de pistas, destacan los momentos que el espectador no espera, como son las campanadas y los cañonazos, disparos y voces. Estos grupos de pistas se editan en la automatización de volumen para resaltar su nivel sonoro sobre los demás grupos, de manera que durante la mezcla queda ajustado su nivel por encima del resto. También destaca el grupo de los gritos que, a diferencia de los demás grupos, pretende sensibilizar al espectador.

Por otro lado, se crean dos pistas auxiliares estéreo para los efectos de sonidos que se aplican mediante *plugins multicanal* sobre algunas pistas. Los efectos incluidos son

la reverberación (*reverb D-verb*) y el retardo (*delay MDelay3*). En este caso, se aplican la *reverb* y el *delay* sobre las *voces*, y adicionalmente la *reverb* a los *caballos*. Por tanto, para colocar estos efectos sobre las pistas de audio se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Se crea la pista auxiliar estéreo.
2. En la pista auxiliar en la parte de insertos (INSERTOS A-E) se aplican por *plugins multicanal* el efecto aplicado (*reverb* o *delay*).
3. Se asigna un bus al canal auxiliar, concretamente el bus 5-6 para el canal auxiliar de la *reverb* y el 7-8 para el del *delay*.
4. En la pista de audio, se aplica la *reverb* (Bus 5-6) o *delay* (Bus 7-8) por envíos (ENVÍOS A-E).

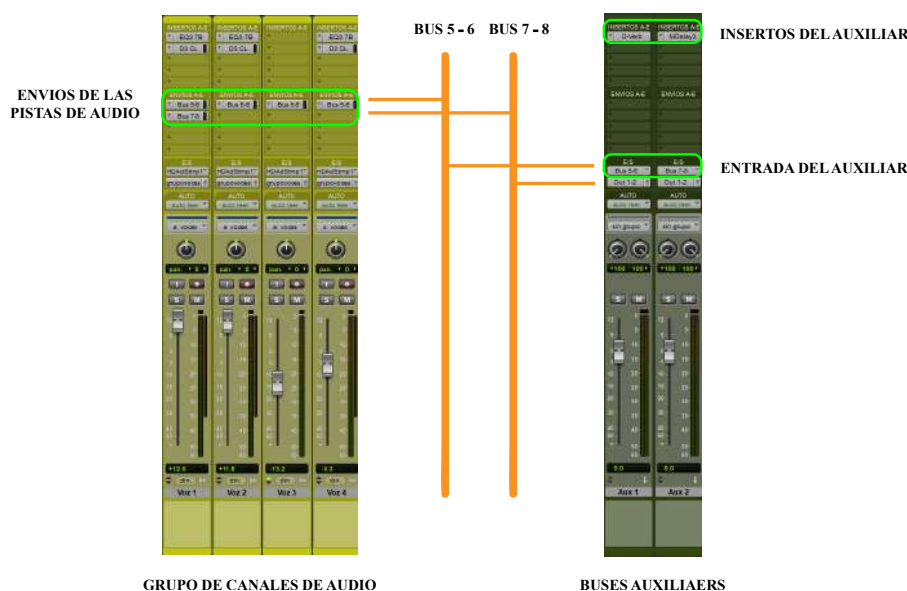


Figura 4.8: Aplicación de efectos por auxiliares

La figura 4.8 muestra detalladamente estos pasos para aplicar los efectos sobre las pistas de audio. Esta forma de enviar los efectos permite obtener un sonido más limpio, dado que el resultado de la señal procesada es la suma de la señal original más la señal con reverberación o *delay*. No obstante, si se aplican los efectos de sonido a las pistas por insertos sin crear un auxiliar a parte, el resultado que se obtiene es un sonido más apagado, que no tiene interés para los objetivos de este trabajo.

Por último, en esta etapa todos los audios han sido normalizados por nivel de pico a un 70 % como máximo (es decir, -3.1 dB), consiguiendo que los niveles de señal más altos de las pistas se desplacen al mismo nivel sonoro sin superar este límite. Como consecuencia, el resto de niveles de la pista aumenta o disminuye en la misma

proporción. Por tanto, con la normalización se consigue un mayor control sobre el proceso de mezcla, resultando más cómoda de llevar a cabo.

4.4.3. Proceso de mezcla

La mezcla es una de las etapas más artísticas de una producción sonora, y depende del criterio que tenga cada productor para ejecutarla. Por tanto, es una etapa subjetiva en la que el resultado depende exclusivamente de los métodos, pruebas y valoraciones del mezclador para conseguir el objetivo deseado. Cuando se trata de mezclar se debe tener en cuenta una serie de parámetros que influyen en este proceso, y son:

- **Nivel sonoro:** volumen de la mezcla en decibelios.
- **Efectos de sonido:** manipulan y modifican el sonido, proporcionándole un resultado característico. Incluye efectos basados en espacialidad (*reverb*) y tiempo (*delay*).
- **Ecualización:** el ecualizador es una herramienta que permite modificar el nivel sonoro sobre las frecuencias deseadas de una señal, incorporando filtros espectrales.
- **Dinámica:** herramienta que modifica el rango dinámico, en decibelios, de la señal de audio. Incluye compresores, limitadores de ruido y puertas de ruido.
- **Panorámico:** distribuye la señal monofónica entre el canal izquierdo y el derecho.

Por otro lado, una herramienta señalada en la mezcla es la creación de subgrupos, que permiten el agrupamiento de distintas señales para facilitar la mezcla cuando se trabaja con un número elevado de canales de audio. También permite el procesamiento simultáneo de todas las señales de un mismo grupo, con operaciones tales como ecualizar y comprimir, obteniendo un resultado más óptimo. Además, los subgrupos sirven para controlar y automatizar el nivel de un conjunto de canales con un sólo *fader*, por lo que es una opción bastante útil para controlar el nivel de la mezcla de varias señales. Para crear subgrupos en Pro Tools se emplean canales auxiliares o buses, que se deben nombrar conforme al grupo de canales que se está mezclando. Posteriormente, se direccionan los canales que se van a agrupar al auxiliar.

En la figura [4.9](#) se detalla el direccionamiento para un subgrupo de los canales asignados a las señales de *campanas*. En esta imagen se puede apreciar este proceso, en el que las salidas de los canales y la entrada del auxiliar se direccionan al mismo bus *grupo campanas*, quedando toda la señal controlada por el subgrupo.



Figura 4.9: Direccionamiento a un subgrupo

Conforme a lo anterior, en la etapa de mezcla de este trabajo se crean 6 buses de subgrupos en los que se agrupan los diferentes canales de audio, como aparece en la tabla 4.3. En esta tabla se distinguen el número del subgrupo dentro de la mezcla, el nombre que se le ha asignado al subgrupo y el número de canales de audio que hay agrupados en el mismo.

Tabla 4.3: Tabla de subgrupos

Número del Sub-grupo	Nombre del Subgrupo	Número de canales del Sub-grupo
Nº1	Grupo campanas	5 canales
Nº2	Grupo voces	4 canales
Nº3	Grupo cañones	7 canales
Nº4	Grupo ataques	2 canales
Nº5	Grupo gritos	8 canales
Nº6	Grupo caballos	2 canales

En la figura [4.10](#) se muestra la ventana de distribución de la mezcla, donde se encuentran todos los canales de audio agrupados, máster y auxiliares que componen la mezcla. Con respecto a los grupos de pistas, es importante distinguirlas por colores, al igual que los buses de subgrupos y los auxiliares de efectos, pues permite tener una mezcla más ordenada y así es más fácil de ubicar el número de grupos que tiene. Por ejemplo, el conjunto *campanas* se compone de 4 pistas estéreo y 1 monofónica, que están diferenciadas en color azul y que a su vez, estas pistas se agrupan en el subgrupo *grupo campanas*, resaltado en color rosa. Para el agrupamiento de todas las pistas auxiliares, se sigue el mismo procedimiento que con el grupo *campanas*. Con este método se consigue controlar conjuntamente los niveles de todas las señales de un grupo con un sólo *fader*, permitiendo el procesamiento global de las señales.

Con respecto al procesamiento de efectos, se aplica el proceso de modificación espectral al grupo *campanas* desde el subgrupo *grupo campanas*, para así enfatizar ciertas frecuencias y detalles en las pistas. No obstante, el sonido original del grupo de las campanas se percibían muy cercanas y con los agudos muy altos. En virtud de la narrativa, las campanas se oían desde el Cubelo, que se encontraba a una distancia considerable de las iglesias y conventos. Por lo tanto, es necesario bajar los agudos y dejar únicamente los graves mediante la ecualización, para aportar mayor realismo sobre la situación que se está mezclando. Para ello, se utiliza el ecualizador estéreo de siete bandas EQ3 7B que proporciona Pro Tools, y con él se baja el nivel del rango que va desde las frecuencias medias hasta las altas, como se presenta en la figura [4.11](#). De esta forma, se consigue un efecto de lejanía del grupo de las campanas, y se escuchan notoriamente los graves por encima de los agudos.

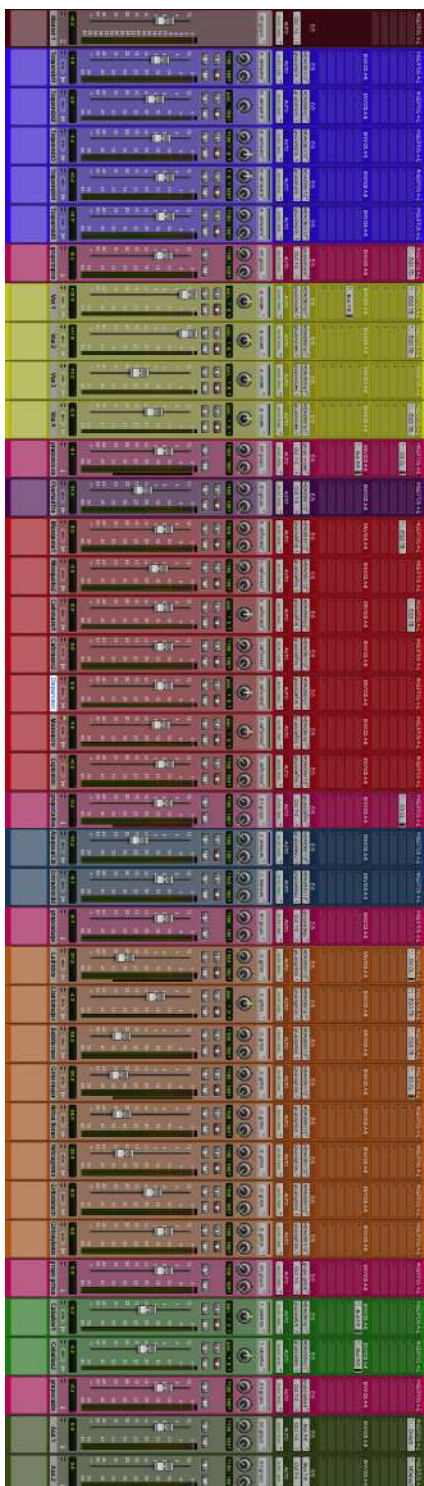


Figura 4.10: Distribución de las pistas de audio



Figura 4.11: Parámetros de ecualización del grupo campanas

Al grupo de las *voces* se le aplica, mediante subgrupo, un efecto temporal de reverberación para mejorar su percepción sonora, aportando una mayor dimensionalidad, profundidad y realismo al sonido. Además, se aplica el efecto de retardo solamente a la primera voz que aparece en la producción sonora, ya que se desea aumentar la sensación de amplitud de espacio. Es importante destacar que no es apropiado utilizar bruscamente los efectos de reverberación y retardo, ya que se enmascararían ciertas frecuencias e impediría que otros sonidos sobresalgan. En cuanto a la modificación del contenido de las frecuencias, la primera voz se ecualiza con la curva espectral **Male Vox-7 band**, disponible en la librería de ecualización, que permite reforzar las frecuencias de las voces masculinas. Concretamente, se aplica un filtro paso-alto desde los 81 Hz que refuerza 3 dB sobre las frecuencias bajas, medias-bajas, medias-altas y altas, como se aprecia en la imagen de la izquierda de la figura 4.12. A la segunda y cuarta voz se le aplica la curva del ecualizador de siete bandas, denominada **Solidify Male Vocal**, que permite intensificar la pronunciación de las sílabas y mejorar la articulación de las palabras, reforzando en 6 dB sobre 150 Hz, tal y como aparece en la imagen de la derecha de la figura 4.12.



Figura 4.12: Parámetros de ecualización de refuerzo de voz y pronunciación de sílabas

Además, a las voces se les aplica un compresor mediante subgrupo para controlar las dinámicas, dándole mayor uniformidad a la pista y así resaltar ciertas características de los sonidos y nivelar el control del volumen general de las pistas. De esta manera, el compresor permite aumentar el nivel de volumen de las voces para mejorar la comprensión de la frase articulada, sin producir distorsión. Los parámetros fundamentales que se aplican a este compresor (**Dyn3Compresor/Limiter**) son los que aparecen en la figura 4.13, donde se aprecia el *threshold*, un techo o umbral flexible en el que toda la señal que se encuentra por debajo del mismo no se ve afectada, pero la señal que supera este límite se encuentra con este techo flexible, puesto que todavía puede subir la señal por encima del umbral. Por tanto, la cantidad de nivel (dBFS) que puede sobrepasar esta señal depende del valor del *ratio*. En este trabajo, se ha configurado un *threshold* de -24 dB y un *ratio* de 3:1, que indicando que deja pasar la tercera parte del nivel que esté superando los -24 dB. Además, se ha puesto un ataque *rápido* de 10 μ s y un *release* medio de 502 ms. Por último, en la figura 4.13 se puede observar la barra GR (reducción de volumen), que indica cuándo actúa el compresor y la cantidad de decibelios que se están comprimiendo.

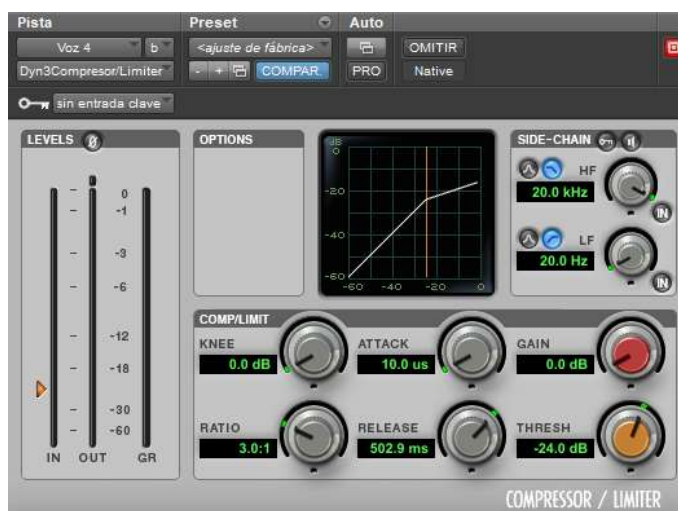


Figura 4.13: Parámetros de compresión de las voces

Por otro lado, del grupo de *señales de cañones* se ha realizado una ecualización al cañonazo de fondo para reforzar sus graves, puesto que inicialmente presenta un nivel bastante bajo, y de esta forma se puede distinguir del resto de cañones. Para ello se aplica el ecualizador de la imagen de la izquierda de la figura 4.14, donde se puede notar el refuerzo de las frecuencias bajas de unos 12 dB, que aporta mayor cuerpo al sonido. Asimismo, al grupo de los cañones se le aplica una compresión por subgrupo para reducir el rango dinámico y darle más color al sonido. La compresión aplicada es la que se refleja en la imagen de la derecha de la figura 4.14, que tiene un nivel umbral de -15 dB, un *ratio* de 3:1, un ataque rápido de 10 μ s y un *release* de 462 ms.

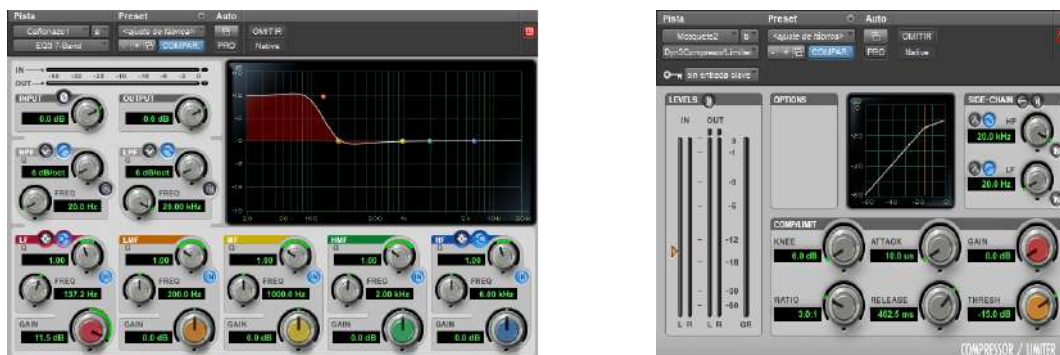


Figura 4.14: Parámetros de ecualización y compresión de cañones

En el grupo de los *gritos* son ecualizados individualmente tanto los *llantos de la mujer* como el *llanto del bebé*, debido a que espectralmente estos sonidos se perciben inicialmente muy cercanos y con un nivel muy alto, y el objetivo es distanciarlos del escenario principal ya que, conforme a la narrativa original, son sonidos que se escuchaban desde la ciudad. Para ello, como se ilustra en la figura 4.15, se ha utilizado el mismo ecualizador de siete bandas para los dos audios en los cuales se ha disminuido considerablemente el nivel, alrededor de los -6 dB del rango de las frecuencias medias, medias-altas y las altas frecuencias, para darle así el efecto de lejanía y realismo deseado.



Figura 4.15: Parámetros de ecualización del llanto de mujer y bebé

Además, se aplica una reducción de dinámica mediante compresión al sonido de los *ladridos* y al *grito de la mujer*, para mejorar la sonoridad de las señales y controlar el volumen de las pistas. El compresor aplicado a ambos sonidos ha sido el mismo, y a diferencia del grupo de los cañones, estos audios tienen un ratio de compresión de 2:1, con un umbral de -15 dB. Esto indica que deja pasar la mitad del nivel que supere el techo flexible de -15 dB aplicado. También se asigna un ataque rápido de 10 μ s y un *release* medio de 584 ms.

Para finalizar la etapa de mezcla, se crea el canal de máster *fader*, el bus estéreo principal sobre el que se direccionan todas las pistas de la mezcla, permitiendo evaluar globalmente los niveles de salida de todos los audios desde un sólo *fader*.

4.4.4. Masterización de la mezcla

La última etapa que se lleva a cabo en esta producción sonora es la masterización, que consiste en optimizar la mezcla completa en una pista estéreo y prepararla para su distribución. Con ello, se le proporciona un sonido más brillante al resultado final de la mezcla. Los procesos que se realizan normalmente en la masterización son la ecualización, la compresión y la maximización, que se encargan de ajustar la dinámica del audio, asignarle un sonido más limpio y claro (sin saturación) y atribuirle un mayor realismo a la mezcla.

Para realizar este proceso, el software ofrece un *plugin* especial llamado *Isotope Ozone 8*, que proporciona herramientas de procesamiento específicas para la masterización de audio. Además de estas herramientas, el *plugin* suministra otras como son los medidores, que permiten la evaluación de la mezcla. Los procesadores de efectos que presenta este *plugin* son los siguientes:

- **Compresores, limitadores y expansores:** se utilizan para ajustar la dinámica en frecuencias específicas de la mezcla.
- **Ecualizadores:** se emplean para dar forma al balance tonal de la mezcla.
- **Imagen estéreo:** permite ajustar el ancho percibido y la imagen del campo de sonido.
- **Excitadores armónicos:** proporcionan un toque de brillo a la mezcla.
- **Dither:** permite convertir grabaciones de mayor longitud de palabra (24 o 32 bits) a longitudes de bits más bajas (16 bits para CD), mientras mantiene el rango dinámico y minimiza la distorsión.

Asimismo, el *plugin Isotope Ozone 8* contiene una herramienta muy eficiente que es el asistente de masterización (*Master Assistant*), que permite crear un punto de partida en base a la masterización que se pretende crear, e incluye todos los procesadores de efectos de la aplicación que pueden ser de interés para mejorar la mezcla. Esto no quiere decir que esta aplicación realice todo el proceso de masterización por sí misma, sino que es una ayuda que establece ciertos arreglos sin modificar bruscamente la mezcla. La evaluación final, modificaciones y mejoras dependen de una valoración personal, donde prima el criterio seguido al aplicar estos cambios sobre la mezcla.

Para realizar este proceso, se crea una sesión aparte con el audio de la mezcla que se ha exportado, creando un canal de audio y otro de *master fader* para controlar y monitorizar la salida de la mezcla. Posteriormente, se aplica el *plugin Ozone 8* por insertos (INSERTOS A-E) sobre el canal de audio donde se ha exportado la mezcla completa. Para comenzar con el asistente de masterización, la pista de audio estéreo debe estar en reproducción a la vez que va creando sugerencias de procesamiento de efectos para aplicar a la mezcla. En este trabajo, recomienda aplicar la herramienta ecualizador, ecualizador dinámico y maximizador. Sin embargo, si se considera necesario, es posible aplicar más herramientas que proporciona el *plugin*.

En la figura 4.16 se muestra el ecualizador aplicado por el asistente, donde se ha añadido un poco de *Low Shelf* en las frecuencias bajas, es decir, un tipo de filtro paso-bajo con una pendiente como la que se observa en la figura 4.16. Además, este ecualizador agrega 0.2 dB en las frecuencias medias y bastantes agudos (3 dB) alrededor de los 8 kHz.



Figura 4.16: Ecualización de la mezcla

Por otro lado, se han agregado modificaciones espectrales mediante la ecualización dinámica en algunos puntos, como se ilustra en la figura 4.17. Concretamente, alrededor de los 187 Hz, 407 Hz y 3.3 kHz se disminuye el nivel en -4 dB, ya que se considera que en estas frecuencias se *ensucia* el sonido. Además, en las frecuencias altas también se disminuye en -2 dB el espectro de la señal.



Figura 4.17: Ecualización dinámica de la mezcla

En el caso del maximizador, se sube el volumen general de la mezcla a -3.9 dB (*threshold*) con un máximo de -1 dB (*ceiling*), como se muestra en la figura 4.18, proporcionando protección frente a distorsiones cuando convierta la mezcla a formatos como MP3 o AAC.



Figura 4.18: Proceso de maximización de la mezcla

Por último, se añade un *plugin* dentro de *Ozone 8* llamado *control del balance tonal*, que permite identificar dentro de un rango de frecuencias el comportamiento de la intensidad de frecuencias, y así poder igualarlo en base a nuestra mezcla. En la figura 4.19 se muestra cómo se lleva a cabo este proceso, donde las líneas blancas deben estar en un punto balanceado, en la mitad dentro del rango del recuadro azul de la mezcla de referencia. Si la línea de referencia se encuentra por debajo de este rango, indica que es necesario aumentar la energía en ese rango de frecuencia, y así con el resto de rangos. En la figura 4.19 se observa el resultado, donde la línea blanca se encuentra en un punto balanceado en todos los rangos de frecuencia de la mezcla de referencia.



Figura 4.19: Control del balance tonal de la mezcla

Capítulo 5

Montaje y resultados

5.1. Introducción

En este capítulo se definirán los métodos que se han llevado a cabo para realizar las pruebas técnicas tanto de las medidas de caracterización del altavoz elegido, obteniendo su respuesta en frecuencia y su directividad, como otras propuestas de pruebas y encuestas que se podrían realizar en el museo y que permitan conocer la valoración de los visitantes sobre la recreación histórica de los paisajes sonoros en el recinto. Para realizar las medidas de las características del altavoz, es necesario tener en cuenta las condiciones acústicas del recinto donde se van a efectuar. Por tanto, estas condiciones deben ser las más parecidas a las de un espacio acústico de campo libre en el que no se producen ni reflexiones ni difracciones de la onda acústica, como las que se podrían dar en un recinto abierto o uno totalmente absorbente. Para ello, se emplea un software denominado FINE-SPL, capaz de emular la respuesta en frecuencia de la sala, que para este trabajo es el Laboratorio de Sonido del Pabellón B de la EITE. El proceso de medida de la respuesta en frecuencia consiste en obtener el comportamiento del altavoz cuando es excitado con una señal variable que recorre todo el rango de frecuencias del espectro audible, también llamado barrido de frecuencias. Por tanto, si se tiene un altavoz que representase a su salida todo lo que recoge, se obtendría una curva que se corresponde a todas las frecuencias. Sin embargo, no es posible realizar este proceso, por lo que la respuesta del altavoz tiene una curva de respuesta diferente. La respuesta en frecuencia se mide tanto en campo cercano como en campo lejano, y la composición de las dos proporciona una respuesta en todo el rango de frecuencia del altavoz. La respuesta del altavoz se obtiene por medio de la curva que proporciona los niveles de presión sonora a 1 metro del eje del altavoz en cada frecuencia que se mide, con una potencia eléctrica de entrada dada. Generalmente, estas curvas son obtenidas excitando el altavoz con una señal sinusoidal variable en frecuencia y con un

micrófono a 1 metro de distancia en la dirección del eje del altavoz que recoge la señal, que es procesada por el software. Asimismo, la respuesta del altavoz debe ser lo más plana posible, aceptando variaciones máximas de ± 3 dB que estén dentro del rango de utilización de la caja acústica que lo contiene. Por otro lado, las características de directividad del altavoz se obtienen a partir de la realización de los diagramas polares que proporciona la pérdida de nivel al alejarse del centro acústico del altavoz. Para ello, son necesarias varias medidas a distintas frecuencias, para así poder evaluar lo directivo que es el altavoz a distintas frecuencias. Otra manera de obtener la directividad de un altavoz es a través de la respuesta en frecuencia, medida a distintos ángulos, como se ha realizado en este trabajo.

5.2. Caracterización del altavoz. Respuesta en frecuencia y directividad

Las medidas para la representación de la respuesta en frecuencia y la directividad se han realizado en el Laboratorio de Sonido de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica de la ULPGC. Los equipos necesarios que se han utilizado para la realización de estas medidas son los siguientes:

- Analizador Dinámico de señal
- Altavoz Ultimate Ears WONDERBOOM
- Micrófono de medida
- Preamplificador de micrófono
- Programa de simulación FINE-SPL
- Ordenador de sobremesa

En la figura [5.1](#) se ilustra el montaje del altavoz en el estudio. En ella se puede visualizar la fuente apoyada encima de un soporte de sobremesa para altavoces, con el eje de dirección apuntando al micrófono a una distancia de 50 cm. El micrófono se sitúa a la misma altura que el centro acústico del altavoz, a 70 cm de altura con respecto al suelo. Además, el micrófono debe estar calibrado mediante el previo de micrófono a una tensión de 1 Vrms, puesto que la salida del previo se conecta a la entrada de línea de la tarjeta de sonido, como se observa en la figura 1. Para ello, se utiliza el analizador dinámico de señal, conectando su entrada a la salida del preamplificador de micrófono y permitiendo ajustar la tensión de calibración requerida. Una vez calibrado

el micrófono, se conecta la salida del previo a la entrada de línea de la tarjeta de sonido del ordenador. Posteriormente, cuando el equipo de medida está preparado se procede a realizar las pruebas de caracterización del altavoz.

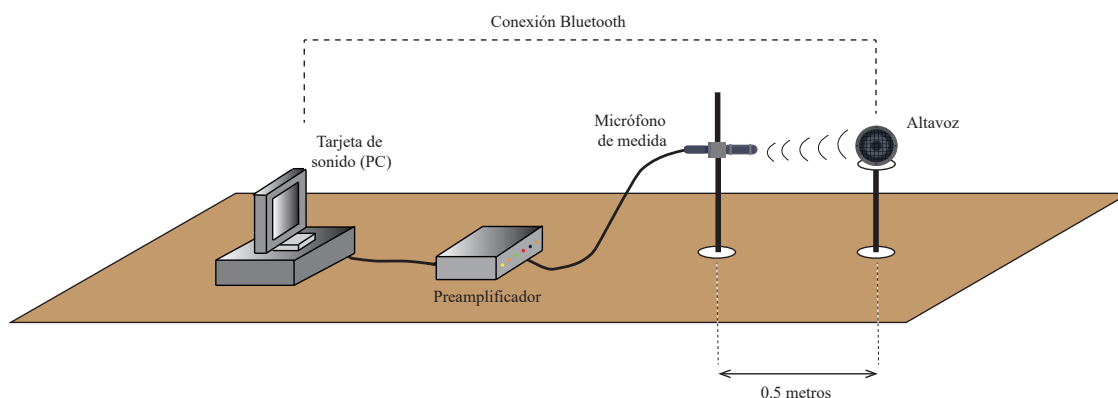


Figura 5.1: Montaje del altavoz en estudio para las medidas de caracterización

El proceso de medida de la respuesta en frecuencia consiste en excitar el altavoz Bluetooth con una señal de barrido de frecuencia, siendo recogida por el micrófono de medida para la representación gráfica de la respuesta en frecuencia mediante el software de simulación. Para medir la respuesta del altavoz, es importante ajustar su ganancia de manera que no sature la entrada de la tarjeta de sonido del ordenador. Además, mediante el software se limitan los niveles SPL (Sound Pressure Level) de salida y de entrada de la tarjeta de sonido a un 90 % para realizar las medidas. Del mismo modo, las medidas obtenidas de la respuesta en frecuencia se representan linealmente en SPL.

Para obtener la directividad del altavoz, el sistema de medida utilizado es el mismo que el de la medida anterior. En este caso, se gira el soporte en tres direcciones diferentes con respecto a su posición inicial, de manera que el centro acústico del altavoz quede situado a una orientación de 90° , 180° y 270° , para comprobar que radia el mismo nivel acústico SPL en todas las direcciones medidas, puesto que se trata de un altavoz de radiación acústica de 360° , también llamado omnidireccional.

En relación con los resultados obtenidos, se observa en la figura 5.2 que la respuesta en frecuencia medida a una orientación de 0° no es una respuesta plana, y presenta irregularidades en mayor o menor medida durante su rango de trabajo, que se manifiesta en el intervalo de los 20 Hz - 20 kHz. También se puede apreciar que es un altavoz deficiente en bajas frecuencias, resultado lógico debido a las dimensiones y características físicas del altavoz, además de presentar una curva menos homogénea con alguna pendiente de caída a los 100 Hz. En las frecuencias medias experimenta irregularidades con caídas de 4 dB, mientras que en alta frecuencia presenta una respuesta con una distribución de energía más homogénea y más plana. En cuanto a las oscilaciones que se presentan notablemente en bajas frecuencias, se entiende que no influyen en el sonido siempre y cuando entre un pico o un descenso no exista una diferencia mayor a 10 dB. Por tanto, se establece que es un altavoz con una respuesta adecuada para la función requerida debido a que sus variaciones dentro del rango de frecuencia entre 200 Hz y 1 kHz no afectan a la inteligibilidad de la palabra del paisaje sonoro recreado. Además, a pesar de estas caídas e irregularidades que se producen en la curva de respuesta del altavoz mediante la aplicación de la ponderación en frecuencia, la curva tiende a volverse más plana en las zonas donde se presentan estas irregularidades.

Por otro lado, la directividad se obtiene comparando la respuesta en frecuencia medidas a 90° , 180° y 270° con respecto a la respuesta de 0° . Por tanto, como se aprecia en la figura 5.2 la respuesta en frecuencia medida a 0° y 180° es prácticamente la misma al igual que la respuesta de 90° y 270° , variando lo más mínimo su curva de respuesta entre todas ellas. Por ello, se determina que es un altavoz omnidireccional o no direccional, que emite la misma intensidad de sonido en todas las direcciones, demostrando así su característica sonora, establecida por el fabricante, de radiador acústico omnidireccional de 360° . Además, se justifica que al ser un altavoz omnidireccional que radia la misma energía acústica en todo el espacio (según la figura 5.2) se trata de un dispositivo con una directividad uniforme, y, por tanto, tiene un diagrama polar omnidireccional que representa todo el espacio en forma de una circunferencia.

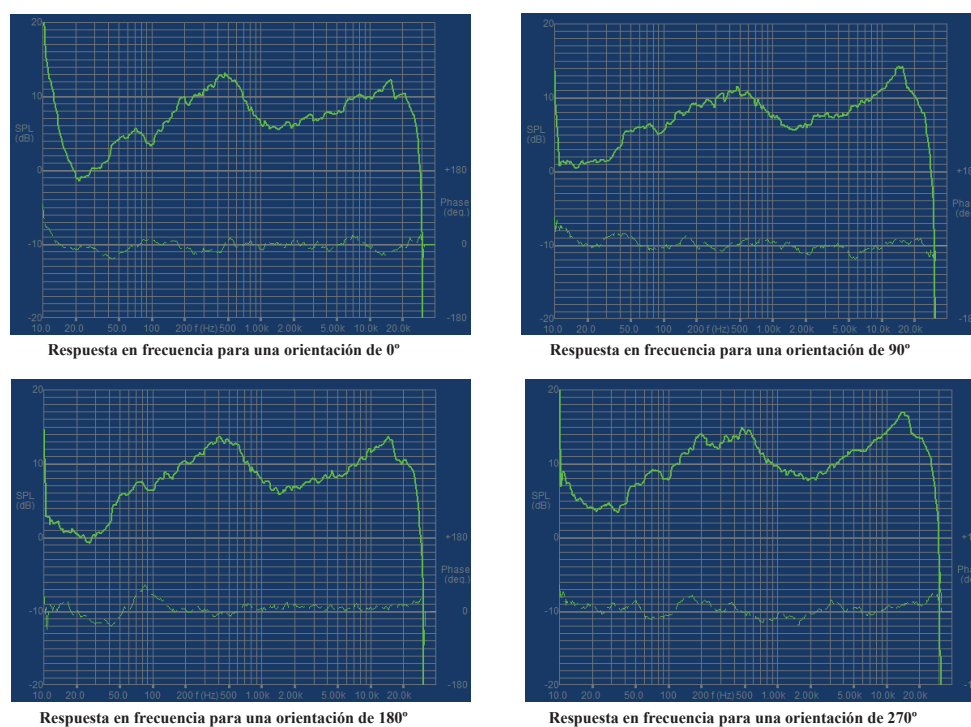


Figura 5.2: Representación de respuesta en frecuencia y directividad a distintas direcciones

5.3. Medidas de valoración sobre la recreación sonora en el museo

Otra de las pruebas propuestas que es importante realizar en este Trabajo Fin de Grado es el estudio sobre el impacto y la valoración que produce la reproducción de la recreación sonora en el museo. Para ello, se debe recoger la opinión crítica del visitante con la finalidad de mejorar la experiencia sonora generada en el recinto. El método consiste en evaluar y analizar la opinión del espectador para obtener puntos concretos sobre cuestiones que puedan mejorar todo lo relacionado con esta propuesta (la calidad del sonido, la ubicación, la calidad de la banda sonora...). Por ello, el mecanismo convencional que se lleva a cabo para abordar la valoración del visitante son las encuestas, que proporcionan información para el tratamiento y análisis de los datos obtenidos. El objetivo de estas encuestas es conocer el perfil del visitante, sus motivaciones, el grado de satisfacción y la opinión que desarrollan sobre la experiencia sonora percibida durante la visita, que son considerados como susceptibles de mejora de esta propuesta. Además, la información que proporciona esta encuesta supone un potencial de análisis importante para el estudio de diferentes aspectos que se pueden abordar en relación con el objeto de aplicación.

A continuación, se describen los ámbitos fundamentales de aplicación que se contemplan para la realización de las encuestas, que indican las características relevantes para la adquisición de datos sobre el visitante.

- **Divulgativo:** aborda las cuestiones basadas en ámbitos cognitivos que la propuesta de ambientación sonora trata de divulgar al visitante, aquellos que les genera un conocimiento o experiencia y les ofrece un método más didáctico de adquirir cultura. En esta parte de la encuesta se trata de valorar el acontecimiento que se desea transmitir y el grado de interpretación y captación sobre el momento histórico recreado. Se recoge la opinión del visitante en virtud de la aportación que la propuesta sonora histórica proporciona durante la visita. Por tanto, la información obtenida en las encuestas permite saber el conocimiento que el encuestado tiene sobre la historia de las Islas Canarias y, en general, si el objetivo de divulgación trasciende al entrevistado.
- **Emocional:** incluye todas aquellas cuestiones relacionadas con la experiencia sonora subjetiva que el visitante percibe en el museo. Este ámbito permite conocer la sensibilidad que el visitante tiene con respecto a la propuesta sonora y que, en cierta medida, permite valorar la componente emocional del encuestado, y como consecuencia captar la atención y apreciación de este en base a los audios reproducidos. Asimismo, la encuesta indica la repercusión que la banda sonora genera, teniendo en cuenta los momentos de sorpresa y emoción que se perciben, como pueden ser los instantes de mayor sonoridad y el ambiente de fondo que está presente en casi todo el audio.
- **Técnico:** proporciona información acerca de los aspectos técnicos del prototipo y de su implantación en el Museo Castillo de Mata que puedan ser objeto de mejoras para su desarrollo. El planteamiento de la encuesta está dirigido a temas relativos como el camuflaje del prototipo, su ubicación, la calidad sonora y la instalación del sistema. Por tanto, mediante la encuesta realizada al visitante se obtiene una idea del ámbito técnico que puede ser un asunto para perfeccionar o modificar y que posibilite la aportación de avances al sistema electroacústico. En definitiva, la valoración de los aspectos técnicos del prototipo permite regular su desarrollo basándose en la experiencia práctica que experimenta el visitante en el museo.

Por tanto, estos son los tres ámbitos importantes que influyen en la propuesta de elaboración de encuestas a llevar a cabo por el personal encargado en el Museo de la Ciudad y el Mar Castillo de Mata, que tienen la finalidad de extraer conclusiones prácticas acerca de la ambientación sonora originada. Además, permite obtener un resultado dirigido en relación con la satisfacción y el beneficio del visitante cuando se encuentra en este entorno acústico.

Capítulo 6

Conclusiones

6.1. Resultados y revisión de objetivos

Una vez realizadas las pruebas de caracterización del altavoz y comprobado el funcionamiento del prototipo, se puede establecer que cumple con las expectativas planteadas en el apartado de objetivos de este Trabajo Fin de Grado. De esta manera, se ha conseguido montar un prototipo de reproducción de audio basado en un microcontrolador conectado con un sensor infrarrojo para la detección de movimiento, y también reproducir la banda sonora desde el microcontrolador mediante una conexión Bluetooth. Además, la banda sonora recrea los sonidos y voces esperados durante el ataque de Van der Does a la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria.

Por tanto, se determina que el prototipo de bajo costo es viable usando una Raspberry Pi, que cuenta con capacidad de procesamiento suficiente para la reproducción de audios, y con un sensor infrarrojo con un gran alcance moderado, que permite la detección de presencia en un espacio amplio como es la Casa Mata. Asimismo, el altavoz cumple con las necesidades planteadas para la aplicación de este Trabajo Fin de Grado, con una respuesta en frecuencia que posibilita la inteligibilidad del paisaje sonoro recreado en el exterior del recinto arqueológico. Además, se ha logrado realizar una banda sonora estéreo que incluye los paisajes sonoros más representativos de la época, y haciendo referencia a los yacimientos arqueológicos relacionados con el acontecimiento que se intenta reproducir. También se ha conseguido plantear la manera más adecuada de mimetizar el prototipo en la Casa Mata, en la que el visitante se favorece del sonido directo por la ubicación de los altavoces, permitiendo cubrir todo el espacio sonoro del recinto.

Por otro lado, se plantea la necesidad de mejorar el sistema para incorporar más altavoces Bluetooth a la Raspberry Pi, y así mejorar la experiencia sonora producida.

Este prototipo puede adaptarse a todo de tipo de recintos de ámbito cultural, permitiendo la incorporación de un mayor número de canales sonoros para mejorar la experiencia acústica en el lugar, tanto para exterior como para interior. Por ello, resulta interesante plantear la incorporación de nuevas tecnologías de reproducción estéreo que permitan la separación de canales de audio (izquierdo y derecho), para así crear un espacio sonoro envolvente lo más realista posible y proporcionar un mayor grado de satisfacción al visitante.

En relación con los objetivos planteados de este Trabajo Fin de Grado, las pruebas realizadas al prototipo han presentado resultados favorables, y han permitido registrar los puntos que son objeto de mejoras para lograr un sistema aplicable a otros ámbitos culturales, como puede ser la ambientación sonora en espacios de ocio, y valorando nuevos avances para el uso comercial del prototipo.

6.2. Líneas futuras

Tras la revisión de objetivos, y en virtud de la tareas que no han sido desarrolladas, se presentan las posibles líneas futuras a las que puede dar pie este Trabajo Fin de Grado. Por lo que se propone mejorar y profundizar el diseño y contenidos desarrollados en las siguientes líneas de investigación fundamentadas en este trabajo:

- La seguridad del diseño y mantenimiento del sistema electroacústico en los museos donde se aplique es uno de los puntos más críticos de este trabajo. Para ello, surge la necesidad de desarrollar un sistema antivandálico para recintos exteriores que sea capaz de proteger al dispositivo frente a hurtos, además de protegerlo frente a inclemencias meteorológicas. En este sentido, el sistema antivandálico puede tender hacia una mejora del sistema de camuflaje, respetando en cualquier caso la arquitectura del espacio patrimonial y evitando que el visitante visualice los altavoces.
 - Hasta el momento, únicamente se ha conseguido configurar un canal Bluetooth en el prototipo diseñado. Un aumento de los canales de Bluetooth implica que se puedan establecer más altavoces para mejorar en reproducción el campo sonoro generado. Por ello, se plantea la necesidad de programar el dispositivo para el tratamiento y la gestión de varios altavoces a partir de un único dispositivo de control, como es la placa de cómputo Raspberry Pi.
 - La producción sonora cumple con los objetivos de este trabajo, y se basa en un análisis historiográfico básico. Sin embargo, puede mejorarse incrementando la colaboración con expertos en la materia, principalmente con especialistas en
-

arte dramático, en locución, en efectos sonoros, y por supuesto con historiadores, que puedan establecer nuevas alternativas para mejorar la producción sonora en calidad y realismo. Para ello, es necesario incluir un mayor número de paisajes sonoros que los que han sido escogidos en este trabajo, y conformar un sistema multicanal (Dolby Surround, servidores de audio profesional para aplicaciones multipista, reproducción de audios multizona, ...) que aporte realismo y con el que el visitante pueda sentirse envuelto en el entorno sonoro que se está recreando.

- El sistema electroacústico permanecerá funcionando tanto tiempo como dure la visita al museo, de manera que es imprescindible evaluar formas de proveer autonomía energética a estos sistemas para alimentar tanto los altavoces como el microcontrolador. Cualquier solución aportada deberá contemplar la no influencia sobre el paisaje visual del museo, evitando que sea visible cualquier tipo de cableado o instalación de fuentes energéticas (paneles solares, por ejemplo).
 - El diseño de la banda sonora de este trabajo solamente incluye las opiniones del alumno y tutores asociados a este trabajo, pero estos criterios son insuficientes para evaluar el impacto sensitivo que genera. Para ello, se plantea la necesidad de encuestar a un grupo de personas que puedan aportar sus sensaciones e impresiones, para así encontrar las partes más débiles de la banda sonora y aplicarle los cambios en función de las opiniones de los encuestados.
 - Es importante explorar nuevos recintos arqueológicos de aplicación del sistema de ambientación sonora, como puede ser el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar o el Parque Arqueológico Maipés de Agaete, para dar una mayor extensión a este tipo de sistemas. Asimismo, esto implica realizar un estudio riguroso de las condiciones acústicas (ruido ambiental, aislamiento, reverberación,...), así como la adaptación del contenido de la producción sonora para su difusión en el recinto.
-

Bibliografía

- [1] J. L. G. Merino, “La comunicación de la Arqueología Virtual,” *Virtual Archaeology Review*, vol. 2, no. 3, pp. 39–41, 2011.
- [2] C. Garza, A. Medina, P. Padilla, A. Ramos, and F. Zalaquett, “Arqueoacústica maya. La necesidad del estudio sistemático de efectos acústicos en sitios arqueológicos,” *Estudios de cultura maya*, vol. 32, pp. 63–87, 2008.
- [3] P. de Sevilla, “Los Principios de Sevilla; Principios internacionales de la Arqueología virtual,” in *Borrador Final del Forum internacional de Arqueología Virtual (Sevilla)*. *Arqueológica*, vol. 2, 2012.
- [4] C. G. Benito, *Arqueología musical prehistórica: aproximación a través de la arqueología experimental aplicada a la arqueo-organología, de la arqueoacústica y de la iconografía musical prehistórica*. PhD thesis, Universidad de Zaragoza, 2015.
- [5] M. Díaz-Andreu, C. G. Benito, and T. Mattioli, “Arqueoacústica, un nuevo enfoque en los estudios arqueológicos de la Península Ibérica,” *La Linde*, vol. 5, pp. 14–38, 2015.
- [6] R. N. Cárdenas-Soler and D. Martínez-Chaparro, “El paisaje sonoro, una aproximación teórica desde la semiótica,” *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, vol. 5, no. 2, pp. 129–140, 2015.
- [7] M. German-González and A. O. Santillán, “Del concepto de ruido urbano al de paisaje sonoro,” *Revista Bitácora Urbano Territorial*, vol. 1, no. 1, pp. 39–52, 2006.
- [8] F. D. Domènech, F. R. Manzo, J. C. Ferré, E. G. Vargas, S. G. García, L. A. Martínez, and D. R. P. Patrón, “Trazas de belleza en los paisajes sonoros de Barcelona y ciudad de México. Aportación al estudio del paisaje sonoro (soundscape),” in *Tecniacústica 2017: 48º Congreso Español de Acústica; Encuentro Ibérico de Acústica; European Symposium on Underwater Acoustics Applications; European Symposium on Sustainable Building Acoustics: A Coruña 3-6 Octubre 2017*, pp. 485–492, Sociedad Española de Acústica, 2017.

-
- [9] M. Gjura, *Evaluación a largo plazo de la variabilidad de los parámetros psico-acústicos en diferentes calles de Madrid*. PhD thesis, ETSIS Telecomunicacion, 2019.
 - [10] blackbox av, “How Do I create A Multi-Zone Surround Sound Museum Experience?.” <http:https://www.blackboxav.co.uk/2015/03/19/how-do-i-create-a-multi-zone-surround-sound-museum-experience/>, 2015. Accedido 5-07-2019.
 - [11] C. de cultura y patrimonio histórico y cultural del Cabildo de Gran Canaria, “Estadística de visitas al museo y parque arqueológico cueva pintada. año 2018.” http:https://www.http://www.cuevapintada.com/documents/7398477/7440774/Enero_Mayo_2018/31457ea6-fc68-4aa3-ad54-2b3601b7d522, 2018. Accedido 9-07-2019.
 - [12] A. Canarias, “El mundo aborigen de Canarias, Patrimonio Mundial de la Humanidad.” http:https://www.abc.es/espana/canarias/abci-mundo-aborigen-canarias-patrimonio-mundial-humanidad-201907071008_noticia.html, 2019. Accedido 9-07-2019.
 - [13] J. Woodside, “La historicidad del paisaje sonoro y la música popular,” *Trans. Revista transcultural de música*, no. 12, 2008.
 - [14] K. Herranz-PascuaL, I. Aspuru, and G.-P. T. de Bizkaia-Edificio, “Dimensiones del paisaje sonoro en un entorno urbano tranquilo,”
 - [15] D. d. l. Prida Caballero, P. Ruiz García, M. Machimbarrena, A. I. Tarrero, M. Á. Bravo, and L. Corral, “Estudio de la correlación entre características viarias y diversos parámetros acústicos subjetivos en la ciudad de Valladolid,” 2018.
 - [16] A. R. Maristany González, *Caracterización del Paisaje Sonoro y su Interacción con el Paisaje Urbano*. PhD thesis, Industriales, 2013.
 - [17] B. Truax, “La composición de paisajes sonoros como música global,” 2006.
 - [18] R. M. Schafer, *El nuevo paisaje sonoro: un manual para el maestro de música moderno*. Melos (Ricordi Americana), 1969.
 - [19] M. Schafer, “Hacia una educación sonora,” *Buenos Aires: Peda*, 1994.
 - [20] A. M. B. Nicolás, A. H. Soler, S. M. Gallego, and M. T. Ortega, “Interpretando el paisaje a través de los sentidos. Una experiencia para la formación del profesorado,” in *Medi ambient i desenvolupament territorial: Segón congrés Universitat de València-Instituts d’Estudis Comarcals*, pp. 243–252, Universitat de València, 2014.
-

-
- [21] S. F. E. Marful, *Ecología acústica y educación: Bases para el diseño de un nuevo paisaje sonoro*. Graó, 2006.
- [22] AENOR, “Norma-ISO 12913-1:2014,”
- [23] A. d. Bethencourt Massieu, “IV Centenario del ataque de Van der Does a las Palmas de Gran Canaria (1999): Coloquio Internacional Canarias y el Atlántico, 1580-1648,” 2001.
- [24] M. A. Ebben, “El ataque de Van der Does a Canarias y la expansión neerlandesa a finales del siglo XVI y comienzos del siglo XVII,” in *IV Centenario del ataque de Van der Does a las Palmas de Gran Canaria (1999): Coloquio Internacional Canarias y el Atlántico, 1580-1648*, pp. 147–168, Cabildo de Gran Canaria, 2001.
- [25] F. B. DE CASTRO, “La defensa de una ciudad atlántica: Las Palmas de Gran Canaria, Siglos XV-XVIII/The defense of atlantic city: Las Palmas de Gran Canaria, XV-XVIII,”
- [26] S. Solbes Ferri, “La defensa de las Islas Canarias en el siglo XVIII: modificaciones presupuestarias para su financiación,” 2012.
- [27] A. González Domínguez, “Entrelíneas: franja costera de San Cristóbal, La Laja,” 2012.
- [28] N. Marrero Vega, “Intervención en San Cristóbal. Espacios intermedios,” 2011.
- [29] J. Sobota, R. Pišl, P. Balda, and M. Schlegel, “Raspberry Pi and Arduino boards in control education,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 46, no. 17, pp. 7–12, 2013.
- [30] G. van Rossum and J. de Boer, “Interactively testing remote servers using the Python programming language,” *CWi Quarterly*, vol. 4, no. 4, pp. 283–303, 1991.
- [31] P. P. Ray, “A survey on Internet of Things architectures,” *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 30, no. 3, pp. 291–319, 2018.
- [32] T. Saarikko, U. H. Westergren, and T. Blomquist, “The Internet of Things: Are you ready for what’s coming?,” *Business Horizons*, vol. 60, no. 5, pp. 667–676, 2017.
- [33] M. Maksimović, V. Vujović, N. Davidović, V. Milošević, and B. Perišić, “Raspberry Pi as Internet of Things hardware: performances and constraints,” *design issues*, vol. 3, no. 8, 2014.
- [34] J. G. MacKinnon *et al.*, “The Linux Operating System: Debian GNU/Linux,” *Journal of Applied Econometrics*, vol. 14, no. 4, pp. 443–452, 1999.
-

-
- [35] G. Senthilkumar, K. Gopalakrishnan, and V. S. Kumar, “Embedded image capturing system using Raspberry Pi system,” *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 213–215, 2014.
- [36] D. Molloy, *Raspberry Pi a fondo para desarrolladores*. Marcombo, S.A., 1 ed., 2018.
- [37] N. Pons, *Linux: principios básicos de uso del sistema*. Ediciones ENI, 2016.
- [38] A. Fernández, *Cámbiate a LINUX*. RC Libros, 2011.
- [39] M. Kastek, T. Sosnowski, and T. Piątkowski, “Passive infrared detector used for detection of very slowly moving of crawling people,” *Opto-Electronics Review*, vol. 16, no. 3, pp. 328–335, 2008.
- [40] E. S. Micko, “PIR motion sensor utilizing sum and difference sensor signals,” Feb. 2007.
- [41] E. B. Soyer, *Pyroelectric infrared (PIR) sensor based event detection*. PhD thesis, bllkent university, 2009.
- [42] A. Tisalema, R. Nogales, and R. Urvina, “Design and validation of a prototype biometric sensor in Raspberry Pi for access control,” in *Tercer Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad*, p. 11.
- [43] J. I. Vega, G. Salgado, M. A. Lagos, V. Tapia, and F. Sánchez, “Red inalámbrica de sensores de presencia,” in *Congreso de Instrumentación SOMI*, vol. 7, 2014.
- [44] H. S. Mellbye, “Opportunities for low power occupancy sensor,” Master’s thesis, NTNU, 2016.
- [45] Logitech, “Ultimate Ears WONDERBOOM.” <http://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/A1zJr1yA0IS.pdf>, 2017. Accedido: 17-06-2019.
- [46] Logitech, “UU WONDERBOOM.” <http://https://www.officemax.co.nz/documents/logitech-ue-wonderboom-speaker-2448025-specs.pdf>. Accedido: 20-06-2019.
- [47] L. R. Ojeda, “Programación Python,”
- [48] G. B. Noguerras, “Python como entorno de desarrollo científico,” *Recuperado de: url*<http://torroja.dmt.upm.es/media/files/paper.pdf>, 2008.
- [49] J. C. Asensio, “Las recreaciones históricas y sus fundamentos:(qué es, quiénes somos, cómo crearlas),” 2013.
-

-
- [50] I. López Barrio and J. D. Guillén, “Calidad acústica urbana: influencia de las interacciones audiovisuales en la valoración del ambiente sonoro,” 2005.
- [51] A. Seba, J. L. Bugiolachi, and J. I. Visentin, “Herramientas para la realización del diseño sonoro,” in *VIII Jornadas Nacionales de Investigación en Arte en Argentina (La Plata, 2011)*, 2011.
- [52] A. J. Benítez, V. Rodríguez Ortega, and F. Utray Delgado, “Guion técnico y planificación de la realización,” 2013.
- [53] L. Martín-Retortillo Baquer, “Medio ambiente sonoro,” 2004.
- [54] F. J. Torres Simón, “Ambientación musical: controlando la experiencia museística,” *Siranda. Revista de Estudios Culturales, Teoría de los Medios e Innovación Tecnológica*, 1, 26-43., 2008.
- [55] C. Saitta, “La banda sonora, su unidad de sentido,” *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, no. 41, pp. 183–201, 2012.
- [56] BOULPGC, “Tabla de Contrataciones de Investigadores con cargo a Proyectos de Investigación aprobada el 21 de julio de 2012,” *Año III*, vol. 8.
-

Parte II

Presupuesto

Presupuesto

P.1. Introducción

En este capítulo se presenta el desarrollo del presupuesto de este Trabajo Fin de Grado, que permite evaluar los costes de los materiales y equipos empleados para su elaboración, además del coste del trabajo realizado y los costes totales generados. Con respecto a esto, los puntos que componen este presupuesto en base a los cálculos realizados son los siguientes:

- Costes de los materiales
- Amortización del inmovilizado material
- Trabajo tarifado por tiempo empleado
- Aplicación de los costes materiales

P.2. Costes materiales

Los costes materiales de este presupuesto se distinguen entre los *costes de materiales fungibles*, que son todos aquellos elementos que se deterioran cuando se usan durante la elaboración de este trabajo, y por lo tanto no son reutilizables, y los *costes de materiales no fungibles*, que por lo general no suponen un deterioro por su utilización durante el tiempo que se realiza este trabajo. Asimismo, dentro de los costes de materiales fungibles se diferencian dos categorías:

- **Materiales hardware**, que son todos los elementos relacionados con los componentes *hardware* empleados para la elaboración de este trabajo, a excepción de los equipos de medidas, que al ser parte de los materiales amortizables no se incluyen en esta categoría.

- **Materiales software**, que indican los costes de las licencias de los programas que se utilizan durante la elaboración de este trabajo, estableciendo un tiempo máximo de uso de un año.

Además, se añade a esta categoría los costes de *otros conceptos de gastos materiales* que suponen un valor adicional a los costes materiales hardware y software, sin incluirlos en estas clases, pero que claramente se incorporan dentro de la categoría de costes materiales que comprende este presupuesto.

P.2.1. Materiales hardware

En la tabla [P.1](#) y [P.2](#) se presentan los costes totales tanto para los materiales hardware fungibles como para los no fungibles, en relación al número de unidades empleadas para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Tabla P.1: Costes de materiales *hardware* fungibles

Concepto	Unidades	Coste unitario
Kit de tubos de plástico termoretráctiles	1	10,12 €
Kit de 10 cables conector para placas de prueba	1	2,41 €
Coste total	12,53 €	

Tabla P.2: Costes de materiales *hardware* no fungibles

Concepto	Unidades	Coste unitario
Raspberry Pi 3 modelo B	1	32,08 €
Sensor PIR HCSR-501	1	12,90 €
Cargador de Raspberry Pi	1	8,68 €
Carcasa protectora para Raspberry Pi (case black / grey)	1	5,59 €
Cable Ethernet RJ45 (1 m)	2	1,50 €
Cable HDMI (0.5 m)	1	8,86 €
Conector XLR (cannon) macho / hembra (1.5 m)	2	8,60 €
Cable de alimentación para monitor	2	5,59 €
Cable Jack / Jack (3 m)	3	2,44 €

Cable FireWire (2 m)	1	21,82 €
Ratón HP X500	1	6,99 €
Teclado Logitech (Comfort Keyboard K290)	1	29,22 €
Coste total	164,85 €	

Asimismo, el coste total de los materiales hardware fungibles utilizados en este Trabajo Fin de Grado es de *doce con cincuenta y tres euros* y para los no fungibles tiene un coste de *ciento sesenta y cuatro con ochenta y cinco euros*.

P.2.2. Materiales software

En la tabla [P.3](#) se presentan los costes de las licencias anuales de todos los programas empleados para la elaboración de este Trabajo Fin de Grado.

Tabla P.3: Costes de materiales *software*

Concepto	Coste de licencia
Software de audio Avid Pro Tools	146,00 €
Software de medidas FineSPL	0 €
Editor Python 2.7	0 €
Editor L ^A T _E X Texmaker	0 €
Editor Adobe Illustrator CC 2019	19,66 €
OpenProj	0 €
Software de audio Audacity	0 €
Aplicación de captura Snagit 2019	0 €
Coste total	165,66 €

Por tanto, el coste total de los materiales software empleados en este Trabajo Fin de Grado es de *ciento sesenta y cinco con sesenta y seis euros*.

P.2.3. Otros conceptos de gastos materiales

En la tabla [P.4](#) se presentan los costes de gastos materiales adicionales que no se incluyen en la categoría de materiales *hardware* y *software*.

Tabla P.4: Otros gastos materiales

Concepto	Coste asociado
Libro " <i>Raspberry Pi a fondo para desarrolladores</i> ", Autor: Derek Molloy (2017), ISBN: 9788426724700	36,26 €
Material de oficina	60 €
Coste total	96,26 €

Asimismo, el coste total de estos materiales adicionales que se han utilizado para este Trabajo Fin de Grado es *de noventa y seis con veintiséis euros*.

P.3. Amortización del inmovilizado material

El inmovilizado material son todos aquellos elementos que son utilizados durante la elaboración de este Trabajo Fin de Grado y pueden ser utilizados para otros propósitos más adelante. Por tanto, los elementos que se incluyen en esta categoría son utilizados durante el periodo estimado para su utilidad máxima, que se le conoce como *tiempo de vida del producto*, y que con el tiempo reducen su valor inicial de adquisición, que es lo que se conoce como *valor residual*. Además, para calcular el valor amortizado de los elementos se debe ponderar el tiempo de ejecución de este Trabajo Fin de Grado con una duración aproximada de 6 meses.

De esta manera, para calcular el valor de la amortización de los elementos que componen esta categoría se emplea la ecuación [P.1](#).

$$\text{Amortización} = \left[\frac{V_a - V_r}{T} \right] \cdot T_u = \left[\frac{V_a - k \cdot V_a}{T} \right] \cdot T_u = \left[\frac{V_a \cdot (1 - k)}{T} \right] \cdot T_u \quad (\text{P.1})$$

donde V_a es el valor de adquisición inicial del producto, V_r el valor residual del producto que se calcula tomando un porcentaje de desuso $k = 0,6$ sobre el valor de adquisición inicial, T es el tiempo de vida del producto y T_u el tiempo de uso del mismo.

En la tabla [P.5](#) se indican los materiales que se han utilizado para la elaboración de este Trabajo Fin de Grado, que componen la categoría de inmovilizado material.

Tabla P.5: Costes del amortizado material

Concepto	Unidades	Valor de adquisición	Valor residual	Vida útil (años)	Tiempo de uso (años)
Mesa de mezcla DigiDesign Digi 002	1	339,00 €	203,40 €	10	10
Monitores profesional de estudio Mackie MR8 MK2 Active Studio Monitor	2	198,00 €	118,80 €	8	5
Micrófono de condensador Audio-Technica AT2020	1	89,00 €	53,40 €	8	5
Filtro anti-pop Samson PS01 para micrófono Auriculares	1	20,99 €	12,59 €	5	5
AKG K-240 Studio	1	55,00 €	33,00 €	8	5
Ordenador Apple iMac de 27 con pantalla de retina 5K (Procesador Intel Core i5 a 3.4 GHz, RAM de 8 GB y 1 TB de almacenamiento)	1	1.789,00 €	1.073,40 €	5	5
Analizador dinámico de señal HP 8590L	1	1.983,06 €	1.189,84 €	10	8
Preamplificador de micrófono Behringer MIC2200 Ultra-gain Pro	1	85,00 €	51,00 €	8	5

Micrófono de medidas Behringer ECM8000	1	31,00 €	18,60 €	8	3
Ordenador Acer Aspire AXC-885 (Procesador Intel Core i5-8400, 8 GB de RAM y 1TB + 128 GB SSD de almacenamiento)	1	679,00 €	407,40 €	5	7
Altavoz Ultimate Ears Wonderboom	2	69,00 €	41,40 €	8	0,5
Monitor Iiyama ProLite E2403WS	1	267,24 €	160,34 €	8	5
Ordenador Portátil Asus F541U (Procesador Intel Core i5-7200U a 3,2 GHz, RAM de 4 GB y disco duro de 1TB)	1	479,00 €	287,40 €	3	2,50
Coste total		2.265,24 €			

Por tanto, el coste asociado al inmovilizado material empleado en este Trabajo Fin de Grado es de *dos mil doscientos sesenta y cinco con veinticuatro euros*.

P.4. Trabajo tarificado por tiempo empleado

Para calcular el salario que debe percibir el autor de este Trabajo Fin de Grado, se utilizan como referencia la Tabla de Contrataciones de Investigadores con cargo a Proyectos de Investigación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, aprobada por Acuerdo del Consejo de Gobierno el 21 de Julio de 2010 y publicada en el BOULPGC el 2 de Agosto de 2010 [56]. Por tanto, el autor se incluye dentro de esta

clasificación como investigador en proyecto a tiempo parcial (20 horas semanales), con una titulación de Ingeniero, percibiendo un salario mensual de 1.192,99 euros.

En la tabla [P.6](#) se muestra el sueldo total que debe percibir el autor de este trabajo en función del número de horas trabajadas, que en el caso de un Trabajo de Fin de Grado es de 300 horas, y el sueldo establecido por esta institución.

Tabla P.6: Costes salariales por trabajo realizado

Categoría	Sueldo mensual	Horas trabajadas	Sueldo por hora trabajada
Ingeniero en proyecto ICP2	1.680,59 €	300	11,20
Sueldo total	3.361,18 €		

Por tanto, el salario que percibe el autor de este Trabajo Fin de Grado suma un total de *tres mil trescientos sesenta y uno con dieciocho* euros.

P.5. Aplicación de impuestos y coste total

En la tabla [P.7](#) se presentan los costes totales en base a la aplicación del Impuesto General Indirecto Canario (I.G.I.C), debido a que este trabajo se realiza en la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, que implica un 7 % sobre los costes totales.

Tabla P.7: Costes totales de proyecto

Concepto	Coste
Costes de materiales	701,22 €
Amortización del inmovilizado material	2.265,24 €
Trabajo tarifado por tiempo empleado	3.361,18 €
Costes totales (sin I.G.I.C)	6.327,64 €
Costes totales (con I.G.I.C)	6.770,58 €

El coste de este Trabajo Fin de Grado titulado *Recreación Sonora del Paisaje Histórico en un Yacimiento Arqueológico*, considerando la aplicación del I.G.I.C sobre el coste final, asciende a un total de *seis mil setecientos setenta con cincuenta y ocho* euros.

D. Pedro Daniel Muñoz Díaz
En Las Palmas de Gran Canaria a 19 de julio de 2019

Parte III

Anexos

Anexo A

Firmware de control del prototipo

```
1
2 import RPi.GPIO as GPIO
3 import os, time
4 import pygame
5
6 pygame.mixer.init()
7 pygame.mixer.music.load("/home/pmuno/Esritorio/tfg/arqueo
   /bandaSonoraTFG.mp3")
8
9 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
10 GPIO.setup(16, GPIO.IN)
11
12 MAX_AUDIO = 59
13
14 def playAudio():
15     print("Audio reproducido")
16     pygame.mixer.music.play()
17
18 def stopAudio():
19     print("Audio detenido")
20     pygame.mixer.music.stop()
21
22 while 1:
23     value = GPIO.input(16)
24     if value == 1:
25         playAudio()
26         time.sleep(MAX_AUDIO)
```

```
27     elif value == 0:
28         stopAudio()
29     else:
30         print("Ha ocurrido un error")
```
