

ACÚSTICA DEL AUDITORIO DE LOS JAMEOS DEL AGUA - LANZAROTE

Manuel M. Medina-Molina^{1*}
Jesús B. Alonso-Hernández¹

¹Departamento de Señales y Comunicaciones – DSC, Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica – EITE, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria – ULPGC

RESUMEN

El uso de cuevas como escenario acústico es una práctica cultural y artística que existe en diferentes partes del mundo. Estos espacios naturales ofrecen características acústicas peculiares que pueden marcar la experiencia auditiva de un concierto, actuaciones teatrales u otras manifestaciones artísticas.

Jameo es un término del léxico canario que define una estructura geológica conformada por un conjunto de cavidades conectadas, cuevas y tubos de lava, que se crean durante las erupciones volcánicas. Estas estructuras configuran un recinto acústico con características peculiares que permite crear experiencias sonoras específicas y envolventes.

Los Jameos del Agua es uno de los proyectos emblemáticos del arquitecto César Manrique, un complejo turístico y cultural construido en una serie de jameos naturales dotado de un auditorio natural interior donde se celebra el “Jameos Music Festival”, entre otros.

Nuestro trabajo de medidas in situ proporciona la caracterización acústica de este recinto singular y ofrece los valores acústicos típicos que puedan facilitar su utilización apropiada según el tipo de música a interpretar.

ABSTRACT

The use of caves as acoustic settings is a cultural and artistic practice that exists in different parts of the world. These natural spaces offer peculiar acoustic characteristics that can mark the listening experience of a concert, theatrical performances, or other artistic manifestations.

Jameo is a term from the Canarian lexicon that defines a geological structure made up of a set of connected cavities, lava tubes, which are created during volcanic eruptions. These structures configure an acoustic enclosure with peculiar characteristics that allow the creation of specific and immersive sound experiences.

Los Jameos del Agua is one of the emblematic projects of architect César Manrique, a tourist and cultural complex built in a series of natural jameos equipped with a natural interior auditorium where the “Jameos Music Festival” is celebrated, among others.

This in-situ measurement work provides the acoustic characterization of this unique venue and offers the typical acoustic values that can facilitate its appropriate use according to the type of music to be performed.

Palabras Clave— cuevas, acústica arquitectónica, sala sinfónica, cave, room acoustics,

1. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, la utilización de cuevas naturales como centros de recreo para el disfrute de la población es muy común [1]. Muchas de ellas son, además, utilizadas como auditorios naturales para la música. Posiblemente, la Cueva de Postojna en Eslovenia sea la más famosa y visitada en todo el mundo. En España podemos destacar la Cueva del Drach y la Cueva de Nerja.

Un Jameo (léxico canario) es una estructura geológica creada del agujero por hundimiento en la bóveda de un tubo volcánico. En la isla de Lanzarote se encuentra el espacio natural, centro de arte y turístico denominado Jameos del Agua [2]. Esta estructura geológica surge como fruto de la erupción del Volcán de la Corona hace unos 3000 años y es aprovechada por la mente privilegiada del arquitecto Cesar Manrique, en los años 70 del pasado siglo, para diseñar un centro turístico y recreativo con auditorio [3].

Los Jameos del Agua se encuentran situados en la sección del túnel volcánico más cercana a la costa y está constituida por varias estructuras independientes que contienen jardines con especies tropicales, fauna acuática endémica y una piscina. En uno de esos tubos volcánicos se dispone, desde 1976, de un auditorio adaptado y acondicionado, el mayor de Europa de estas características,

* **Autor de contacto:** manuel.medina@ulpgc.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

donde se celebra, entre otros, el famoso “Festival de música de Lanzarote” y el “Jameos Music Festival”.

Desafortunadamente, el auditorio natural de los Jameos del agua permanece cerrado con bastante frecuencia debido a inestabilidades estructurales detectadas en la cueva fruto del proceso de degradación natural.

El presente trabajo está basado en las medidas obtenidas para la realización de dos proyectos final de carrera en la EITE de la ULPGC [4][5].

2. EL AUDITORIO DE LOS JAMEOS DEL AGUA

El auditorio de los Jameos del Agua está construido en un cueva volcánica con dos espacios perfectamente definidos y diferenciados: La sala de audiencias y el escenario.

La sala de audiencia del auditorio, planta de 700 m² de unos 35 metros de largo y con capacidad máxima para unos 500 espectadores, se muestra en la Figura 1. El suelo del pasillo está cubierto con moqueta, el área de audiencia es de revoco de cemento blanco con asiento y respaldo cubierto de cojines de cuero negro. El techo y las paredes están formados por la estructura volcánica de piedra rugosa y porosa [4][5].



Figura 1. Vista del auditorio desde la sala de audiencia.

El escenario del auditorio, ver Figura 2, cuenta con una superficie útil de unos 200 m², de unos 18 metros de ancho, con suelo de madera y caja de piedra volcánica común en toda la sala [4][5]. Cuenta con una prolongación trasera, no visible al público de las filas intermedias, de unos 100 metros cuadrados culminados en una estructura de cristal que permite el paso de la luz natural.

La estructura de las paredes y el techo están contenidas en un tubo volcánico que se asemeja a un semicono circular dispuesto a lo largo del eje longitudinal del área de audiencias. El material de las paredes y el techo es piedra volcánica, material muy poroso y rugoso, conocido en canarias como maípez o malpaís.

La pared posterior de la sala, de unos 10 metros de alto y 9 de ancho, está revestida con cristal y culminada en su techo por una estructura en forma de claraboya que cubre el agujero de salida del jameo y permite el paso de la luz natural. Tras

el cristal de la pared posterior se encuentra una sala de proyección que dota al recinto con posibilidades audiovisual.

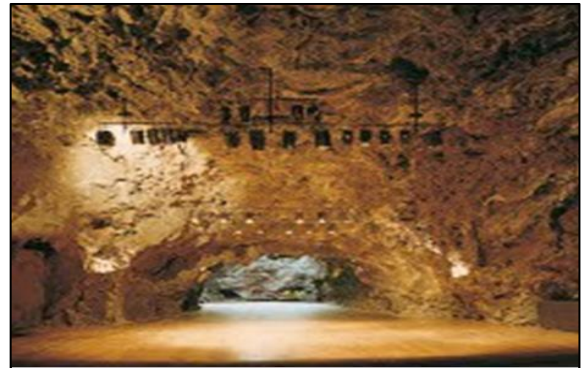


Figura 2. Escenario del Auditorio.

3. METODOLOGÍA

Para caracterizar la acústica del recinto se procedió a medir in situ el tiempo de reverberación según establece la norma EN-ISO 3382 mediante el software para medidas acústicas DIRAC 4 y el instrumental de excitación y captación apropiado. Este mismo software proporciona también algunos de los parámetros acústicos que aquí presentamos. La estación básica de medidas se muestra en la Figura 3.

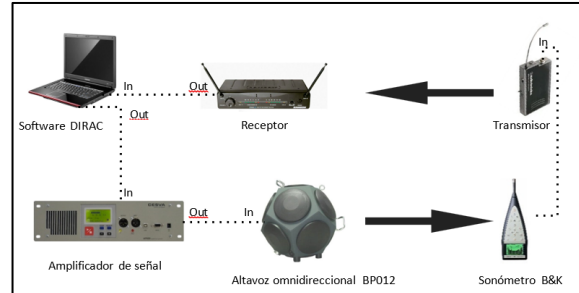


Figura 3. Estación básica de medidas [5].

Una vez calibrada, verificada y validada la estación básica se procedió a realizar un muestreo reticular del auditorio con más de 60 estaciones de medida en toda el área de audiencias, como se muestra en la Figura 4. Para enviar los datos al ordenador se empleó un enlace de radio UHF que demostró ser una herramienta muy útil debido a las dimensiones del recinto y la incomodidad de utilizar una línea de transmisión convencional.

Las medidas se realizaron utilizando señales MLS, barridos logarítmicos y también mediante pruebas con la detonación de globos, todo ello procesado por DIRAC como señales internas o externas. En todos los casos, la relación señal a ruido fue adecuada, aunque inexplicablemente baja para las señales MLS.

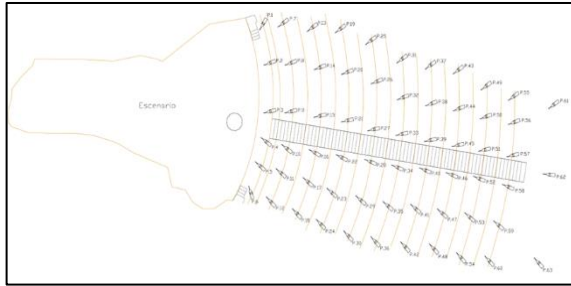


Figura 4. Muestreo de la sala de audiencia del auditorio [5].

4. RESULTADOS

Pasamos a continuación a mostrar, de forma muy sucinta, el resultado de las medidas realizadas. Los resultados completos podrá encontrarlos en [4] y [5].

4.1. Tiempo de reverberación

Los valores de los parámetros relacionados con el tiempo de reverberación, EDT y T30, muy uniformes en todos el recinto, se presentan promediados por octavas para toda la sala en la Tabla 1 y en la Figura 5.

Tabla 1. Valores promedio y desviación típica del tiempo de reverberación por octava.

Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT [s]	1,00	0,98	1,03	1,03	0,96	0,77	0,56
SD	0,40	0,15	0,19	0,14	0,13	0,09	0,34
T30 [s]	1,13	0,93	0,90	0,86	0,76	0,63	0,44
SD	0,36	0,08	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03

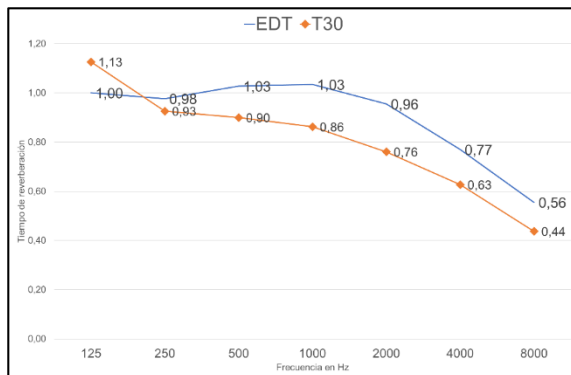


Figura 5. Espectro de reverberación.

4.2. Parámetros de energía: C50 y C80

La claridad para la palabra y para la música, descrita por los parámetros C50 y C80 (Average según Beranek) respectivamente, no ha podido ser promediada en toda la sala debido a la alta dispersión de resultados, especialmente a medida que nos alejamos del escenario. Por esta razón,

presentamos aquí sólo los valores de la primera en la Tabla 2 y la última fila en la Tabla 3, dejando al lector estimar la caída paulatina del valor del parámetro a medida que nos alejamos del escenario.

Tabla 2. Valores de C50 y C80 en primera fila, a 4 m. del escenario.

Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 [dB]	3,8	3,3	3,9	4,4	8,9	7,9	7,0
C80 [dB]	4,6	6,5	6,3	7,0	11,2	10,6	9,5

Tabla 3. Valores de C50 y C80 en última fila, a 33 m. del escenario.

Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 [dB]	-2,7	-3,2	-3,2	-3,1	-2,9	-1,7	-0,6
C80 [dB]	-2,4	-2,9	-3,0	-3,0	-2,8	-1,7	-0,6

4.3. Inteligibilidad

Las muestras tomadas han arrojado un valor de RASTI (Rapid Speech Transmission Index) promedio de 0,6 en toda la extensión de la sala. El valor máximo 0,74 se obtuvo en las primeras filas, como era de esperar, y se midió un mínimo de 0,56 en la última fila.

Con esos valores se determina un %Alcons (Percentage Articulation Loss of Consonants) promedio de 7%, con un mínimo de 3% en la primera fila y un 8% en la última.

4.4. Difusión sonora

Para caracterizar la difusión del sonido en el área de audiencia, una vez ubicada la fuente sonora en el escenario con emisión de ruido rosa a unos 100 dB (máximo de nuestro equipo), se procedió a medir en nivel sonoro espectral de recepción a 1m. de la fuente y a tomar medidas del nivel sonoro para diferentes distancias en el eje longitudinal de la sala. Los valores totales obtenidos se representan en la Figura 6.

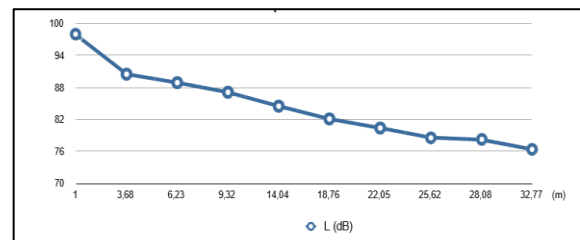


Figura 6. Caída del nivel acústico respecto a la fuente.

4.5. Ruido de fondo

La medida del ruido de fondo en diferentes posiciones de la sala nos permite caracterizar el recinto con una valoración NC-15 de las curvas Noise Criteria, como puede apreciarse en el espectro de ruido de la Figura 7, resultado del promedio de medidas en diferentes posiciones del área de audiencia y del escenario.

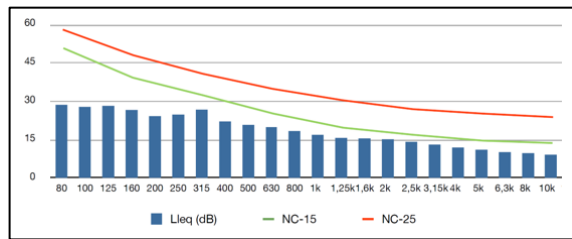


Figura 7. Espectro de ruido de fondo.

5. DISCUSIÓN

El tiempo de reverberación se revela como el parámetro acústico más estable en todas las estaciones de medida, con una desviación estándar de la medida en el orden de las centésimas, exceptuando la banda de 125 Hz que rondó el valor de 0,3. Esta característica muestra la acción de la principal superficie de absorción, las paredes y techo de la cavidad volcánica, que actúa como un excelente absorbente y difusor del sonido que fluye desde el escenario. Desde nuestro punto de vista, el valor promedio de T, inferior a 1 segundo excepto en la banda de 125 Hz, caracteriza el recinto como bastante “seco” y poco reverberante para el volumen de 6.000 metros cúbicos de la sala. Por otro lado, el valor de EDT superior a T30 en todo el espectro caracteriza un arribo rápido de la energía sonora y una cola de reverberación muy poco influyente en la peculiaridad acústica del recinto.

Con respecto a los parámetros de claridad C50 y C80 (Speech y Music average, en dB), queremos hacer constar la sorpresa por los datos medidos. Si bien dentro de una distancia al escenario menor a 10 metros los valores responden a las expectativas, valores superiores a 2 dB y 5 dB respectivamente, a partir de 15 metros estos valores se vuelven negativos, indicando un cierto deterioro de la claridad para la palabra y para la música en el fondo del auditorio. De cualquier forma, los valores de C80 son superiores a -3 dB y caracteriza una sala con una acústica muy aceptable en cualquier posición para música sinfónica. Los valores de C50 y C80 positivos y de valor superior a 2 dB en la cercanía del escenario caracterizan esa parte de la sala como excelente para la reproducción de actividades teatrales o de música “rápida” como el jazz, la música electrónica, etc.

Por otro lado, las medidas de la inteligibilidad para la palabra arrojan un valor de RASTI bastante aceptable en cualquier parte de la sala, con valores excelentes (0,74) para las primeras filas y un valor aceptable para las últimas filas (0,56).

La medida de la difusión sonora en el eje longitudinal del área de audiencia nos ayuda a comprender los fenómenos comentados anteriormente. Como puede apreciarse en la Figura 6, la influencia del campo reverberante es muy pobre en toda la sala debido a la porosidad y rugosidad de las paredes límite de la cueva volcánica, presentando una difusión de energía “casi” como la esperada para campo libre (a 30 metros del escenario el nivel total recibido cae 25 dB).

Ello explica los valores desiguales, próximos y distales, de la claridad C50 y C80 a lo largo del área de audiencia.

Con respecto al ruido de fondo, concluimos diciendo que los valores medidos son la envidia de cualquier gran auditorio, alcanzando una valoración NC-15 como hemos indicado en la Figura 7, que garantiza el gran confort acústico.

En otro orden de cosas, todas las medidas obtenidas permitieron validar el modelado del auditorio en el software EASE 4 (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers), ver Figura 8.

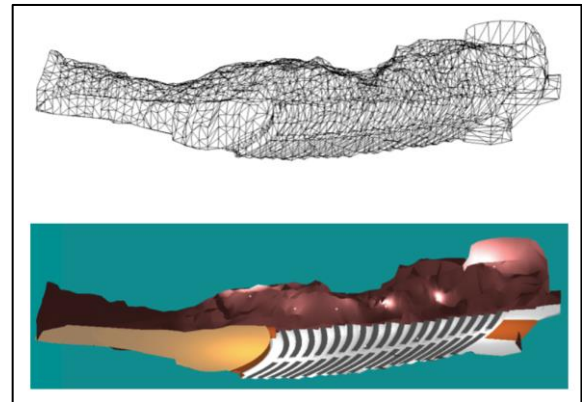


Figura 8. Modelo del auditorio en EASE [5].

Este modelo facilitó el estudio con mucho más detalle de las características geométricas de la acústica en el auditorio. Al mismo tiempo, permitió determinar con bastante precisión el valor del coeficiente de absorción de la piedra volcánica que es utilizada con bastante frecuencia en salas y estudios de grabación de sonido para conseguir una atmósfera libre de reflexiones (especialmente con instrumentos de viento y batería)

6. CONCLUSIONES

Desde nuestro punto de vista, los parámetros acústicos que hemos presentado permiten caracterizar el auditorio de los Jameos del Agua como una sala con unas altas prestaciones acústicas, similar a cualquier sala sinfónica del mismo volumen en cualquier parte del mundo. Si bien la baja reverberación general de la sala podría indicar un carácter un tanto “seco” para la reproducción de música sinfónica o de cámara, las medidas del tiempo de reverberación, la inteligibilidad, la claridad y la difusión del sonido la hacen especialmente adecuada para la reproducción de música moderna, rápida e incluso con alta presencia de graves.

Por otro lado, la atmósfera y el encanto del auditorio diseñado y creado por César Manrique en la estructura volcánica del jameo ofrecen la posibilidad a esta sala de convertirse en un marco inmejorable para la promoción cultural y turística de la isla de Lanzarote, que permitiría

ampliar su plan de actuaciones escénicas al teatro, el ballet, o generalizando su utilización como sala de conciertos.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Cabildo Insular de Lanzarote facilitarnos el acceso al centro turístico y conceder becas de transporte a los estudiantes.

También agradecemos la colaboración de los profesores de la ULPGC Eduardo Hernández Pérez y Juan Manuel Caballero Suárez y los estudiantes Luis Morín y Alejandro Ruiz.

8. REFERENCIAS

[1] Iannace, G., & Trematerra, A. (2014). The acoustics of the caves. *Applied Acoustics*, 86, 42–46.
<https://doi.org/10.1016/J.APACoust.2014.05.004>.

[2] Toponimia de Lanzarote - Jameo. (n.d.). Retrieved September 11, 2023, from
<http://toplanzarote.ulpgc.es//toponimo.php?id=898>.

[3] Intro - CÉSAR MANRIQUE LANZAROTE, ARQUITECTURA. (n.d.). Retrieved September 11, 2023, from
<https://manriquelanzarote.com/>.

[4] Morín García, L., & Caballero Suárez, J. M. (1999). Estudio acústico del Auditorium de Los Jameos del Agua en la isla de Lanzarote / Luis Morín García; Juan Manuel Caballero Suárez, dir. <http://bibcontentdm.ulpgc.es/u/?POSTULPGC,1382>.

[5] Ruiz Suárez, A., & Medina-Molina, M. M. (2011). Estudio acústico del auditorio Jameos del Agua - Haría, Lanzarote / Alejandro Ruíz Suárez; tutor Manuel Martín Medina Molina. <http://hdl.handle.net/10553/68699>