

## PROYECTO FIN DE GRADO

**TÍTULO:** Estudio Acústico del Festival Jardín de las Delicias

**AUTOR/A:** Ana Loma Mecha

**TITULACIÓN:** Grado en Ingeniería de Sonido e Imagen

**TUTOR/A:** Antonio Pedrero González

**DEPARTAMENTO:** Ingeniería Audiovisual y comunicaciones (IAC)

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE/A:** Sara Lana Serrano

**TUTOR/A:** Antonio Pedrero González

**SECRETARIO/A:** Cesar Asensio Rivera

**Fecha de lectura:**

**Calificación:**

El Secretario/La Secretaria,



---

## Agradecimientos

A mi tutor Antonio Pedrero, por la paciencia que ha tenido conmigo y los consejos que me ha dado.

A mi madre, por animarme a no tirar la toalla y estar ahí cuando la necesitaba.

A mi padre, por las charlas motivadoras que han hecho que tenga más confianza en mí.

A mis hermanas Eva y Blanca, por estar a mi lado día a día.

A mis abuelos, tía Angelines y yaya, por preguntar en cada momento por mí y darme ánimo para seguir a delante.

A mis compañeros de carrera, por estos cinco años largos que sin su apoyo y amistad no habría podido superar.

A Álvaro, por abrirme los ojos y ayudarme a tomar decisiones difíciles, siempre hay que tener un plan.

A Lidia, Paula y Aroha, por ser los pilares fundamentales en mi vida. Gracias por levantarme cuando todo se hundía.

A Leo, por ser la mejor persona que he podido conocer. Gracias por este último año, por tu confianza y apoyo, me has dado la fuerza que he necesitado para lograrlo.

A Alejandro, por acompañarme en cada momento, ayudarme a crecer y creer en mí cuando todo estaba oscuro, sin ti esto no hubiera sido posible.

Al resto de personas de mi vida, gracias por estar ahí cuando os he necesitado, por motivarme y apoyarme en cada momento de este último año, que no ha sido fácil.

---

---

## Resumen

Este proyecto se ha llevado a cabo con el objetivo de estudiar el impacto sonoro del evento Jardín de las Delicias, realizado en las instalaciones del Complejo Deportivo Cantarranas los días 23 y 24 de septiembre del año 2023.

Este evento está situado en una zona educativa donde se encuentran la facultad de Ciencias de la Información y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos entre otras. A menos de 2 kilómetros se encuentra el Hospital Clínico San Carlos.

En primer lugar, se han realizado medidas del nivel de la actividad y del nivel de ruido de fondo con el sonómetro de Brüel & Kjær junto con su preamplificador, en varios puntos cercanos a la localización del evento, para los tres periodos del día (día, tarde y noche) siguiendo las indicaciones de la OPCAT, siendo uno de estos puntos el anteriormente mencionado Hospital Clínico San Carlos por la vulnerabilidad que supone el edificio.

Una vez obtenidos los niveles, se han exportado con el software Evaluator a formato Excel en donde se han tratado los datos mediante cálculos y tablas. Con los softwares QGis y LimA, se han realizado los modelos de cálculo y simulaciones acústicas, para obtener los mapas de ruido de la zona y su futura evaluación sonora.

Finalmente, mediante los gráficos obtenidos se pueden visualizar las zonas más afectadas, siendo la más perjudicada el Hospital Clínico San Carlos. Por ello se proponen 3 soluciones para facilitar la atenuación en dicha localización. La primera de ellas supone adaptar los niveles de emisión a los permitidos por la legislación vigente en las fachadas afectadas; la segunda supone un cambio en la disposición de los escenarios, invirtiendo la orientación de emisión; y la tercera consiste en la instalación de barreras acústicas en la parte trasera de ambos escenarios.

En conclusión, se ha realizado un estudio acústico del evento para el análisis y corrección de ruido en futuras ocasiones en las zonas acústicamente sensibles.

---

## Abstract

This project has been carried out with the aim of studying the noise impact of the Jardín de las Delicias event, held in the facilities of the Cantarranas Sports Complex on September 23rd and 24<sup>th</sup> of 2023.

This event is located in an educational area where the Faculty of Information Sciences and the Higher Technical School of Civil Engineering, among others, are situated. Less than 2 kilometers away is the San Carlos Clinical Hospital.

First of all, measurements of the activity level and the background noise level were taken with a Brüel & Kjær sound level meter along with its preamplifier, at several points near the location of the event, for the three periods of the day (day, afternoon and night) following the indications of the OPCAT guidelines, one of these points being the aforementioned San Carlos Clinical Hospital due to the vulnerability of the building.

Once the levels were obtained, they were exported with the Evaluator software to Excel format where the data was processed by means of calculations and tables. With the QGIS and LimA software, calculation models and acoustic simulations have been carried out to obtain noise maps of the area and their future noise evaluation.

Finally, the obtained graphs allow us to visualize the most affected areas, with the San Carlos Clinical Hospital being the most impacted. Therefore, three solutions are proposed to facilitate attenuation at this location. The first involves adjusting the emission levels to those permitted by current legislation at the affected facades; the second involves a change in the arrangement of the stages, reversing the emission orientation; and the third involves the installation of acoustic barriers at the rear of both stages.

In conclusion, an acoustic study of the event has been carried out for the analysis and correction of noise on future occasions.

---

## Índice de figuras

Ilustración 1 Vista general Software LimA 2023.....	5
Ilustración 2 Vista general QGis.....	7
Ilustración 3 Curva de ponderación temporal. Fuente: [4] .....	8
Ilustración 4 Vista de una medida en Evaluador.....	10
Ilustración 5 Serie de mediciones para la evaluación del indicador Lkeq .....	13
Ilustración 6 Cartel Festival Jardín de las Delicias 2023 .....	19
Ilustración 7 Localización del primer lugar de medida.....	21
Ilustración 8 Localización del segundo lugar de medida.....	22
Ilustración 9 Localización del tercer lugar de medida .....	22
Ilustración 10 Vista aérea de las 3 localizaciones de medida y el lugar del evento en amarillo .....	23
Ilustración 11 Tabla de atributos de los emisores en QGis.....	39
Ilustración 12 Vista de QGis de los emisores geolocalizados .....	40
Ilustración 13 Vista de QGis con los emisores y las localizaciones del sonómetro .....	40
Ilustración 14 Página de descarga de edificios 2016 del geoportal del Ayuntamiento de Madrid [11].....	41
Ilustración 15 Herramienta Unir atributos por localización .....	42
Ilustración 16 Mapa del evento con la capa de edificios .....	42
Ilustración 17 Tabla de atributos de la capa de edificios.....	43
Ilustración 18 Capas de modelo del terreno del geoportal [11] .....	43
Ilustración 19 Visor web del geoportal [11].....	44
Ilustración 20 Herramienta curvas de nivel .....	44
Ilustración 21 Vista del programa con las opciones de Convert Data.....	45
Ilustración 22 Tipología General Variation.....	46
Ilustración 23 Vista de la ventana Convert from Shape to LimA para el archivo Edificios.....	46
Ilustración 24 Vista de la ventana Convert from Shape to LimA para el archivo Curvas de nivel .....	47
Ilustración 25 Vista de la ventana Convert from Shape to LimA para la capa de emisores.....	48
Ilustración 26 Atributos de los objetos emisores.....	48
Ilustración 27 Tipos de emisores CIN.....	49
Ilustración 28 Tipos de directividad .....	50
Ilustración 29 Características del Loudspeaker .....	50
Ilustración 30 Colocación de receptores en distintos puntos del festival .....	51
Ilustración 31 Cálculo industrial para receptores .....	52
Ilustración 32 Niveles en dB obtenidos en los receptores por la emisión del escenario 1 .....	52
Ilustración 33 Ventana del cálculo de gráficos .....	54
Ilustración 34 Ventana de conversión de formatos Lima to Shape.....	55
Ilustración 35 Tipología empleada los mapas de ruido para los periodos diurno/vespertino y nocturno .....	55
Ilustración 36 Resultado de la simulación para el periodo diurno .....	56

---

Ilustración 37 Resultado de la simulación para el periodo vespertino .....	57
Ilustración 38 Resultado de la simulación para el periodo nocturno .....	57
Ilustración 39 Resultados con los niveles propuestos para el periodo diurno.....	60
Ilustración 40 Resultados con los niveles propuestos para el periodo vespertino .....	60
Ilustración 41 Resultados con los niveles propuestos para el periodo nocturno .....	61
Ilustración 42 Resultados con el cambio de disposición de escenarios para el periodo diurno .....	62
Ilustración 43 Resultados con el cambio de disposición de escenarios para el periodo vespertino .....	62
Ilustración 44 Resultados con el cambio de disposición de escenarios para el periodo nocturno.....	63
Ilustración 45 Medidas de la barrera Echo Barrier H9.....	66
Ilustración 46 Ejemplos de uso de barrera Echo Barrier H9 .....	66
Ilustración 47 Disposición de las barreras acústicas en Lima.....	67
Ilustración 48 Resultados de la simulación del nivel acústico del evento con telas acústicas en el periodo diurno .....	68
Ilustración 49 Resultados de la simulación del nivel acústico del evento con telas acústicas en el periodo vespertino .....	68
Ilustración 50 Resultados de la simulación del nivel acústico del evento con telas acústicas en el periodo nocturno.....	69

---

## Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación y Tipos de Áreas Acústicas .....	1
Tabla 2 Valores límite de inmisión de ruido aplicables a infraestructuras portuarias y a actividades. Tabla B1 del Anexo III del RD 1367/2007 .....	12
Tabla 3 Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades. Tabla B2 del Anexo III del RD 1367/2007 .....	12
Tabla 4 Penalización por baja frecuencia .....	14
Tabla 5 Penalización por impulsividad.....	14
Tabla 6 Penalización por componentes tonales.....	15
Tabla 7 Límites Acústicos Artículo 15 OPCAT .....	15
Tabla 8 Ventanas meteorológicas .....	23
Tabla 9 Condiciones Meteorológicas durante la medición del ruido de la actividad, periodo completo.....	24
Tabla 10 Condiciones Meteorológicas durante la medición del ruido de fondo, periodo diurno .....	24
Tabla 11 Condiciones Meteorológicas durante la medición del ruido de fondo, periodos vespertino y nocturno.....	24
Tabla 12 Resultados de las mediciones .....	28
Tabla 13 Resultados corregidos por Ruido de Fondo .....	29
Tabla 14 Componentes de impulsividad, baja frecuencia y tonalidad.....	30
Tabla 15 Valores de $L_{k,q,5s}$ .....	31
Tabla 16 Valores finales de $L_{k,q,5s}$ .....	32
Tabla 17 Mediciones del periodo nocturno de la posición 2 .....	32
Tabla 18 Ejemplo de un balance de incertidumbre para un valor medido según la UNE/ISO 1996-2 .....	33
Tabla 19 Resumen incertidumbre por instrumentación .....	33
Tabla 20 Resumen incertidumbre meteorológica .....	34
Tabla 21 Resumen incertidumbre por localización.....	34
Tabla 22 Resumen incertidumbre de condiciones de operación.....	35
Tabla 23 Resumen incertidumbre sonómetro 1 .....	35
Tabla 24 Resumen incertidumbre sonómetro 2 .....	35
Tabla 25 Resumen incertidumbre sonómetro 3 .....	35
Tabla 26 Resumen incertidumbres final.....	35
Tabla 27 Cálculo de la incertidumbre del ruido de fondo.....	36
Tabla 28 Coeficientes de sensibilidad para el ruido total y residual .....	37
Tabla 29 Resultados finales del nivel del evento con su incertidumbre.....	37
Tabla 30 Niveles $L_{Aeq,5s}$ promediados para el escenario 1 a 240 metros (receptor 1) .....	49
Tabla 31 Niveles obtenidos en el receptor 2 por la emisión del escenario 1.....	52
Tabla 32 Resultados de los niveles generados por el escenario 2 en la posición 2 (70 metros de distancia) .....	53
Tabla 33 Resultados simulación periodo diurno .....	56

---

Tabla 34 Resultados simulación periodo vespertino .....	57
Tabla 35 Resultados simulación periodo nocturno.....	57
Tabla 36 Comparativa de niveles del Artículo 15 de la OPCAT con los obtenidos en la posición 3 (Hospital).....	59
Tabla 37 Niveles en dB propuestos .....	60
Tabla 38 Resultados obtenidos en el Hospital con los niveles propuestos .....	61
Tabla 39 Niveles obtenidos en el Hospital con el cambio de disposición de escenarios.....	63
Tabla 40 Coeficiente acústico de las barreras Echo Barrier H9 medido en una habitación reverberante.....	64
Tabla 41 Coeficiente acústico de las barreras Echo Barrier H9 para un uso en edificios .....	64
Tabla 42 Índice de reducción sonora de las barreras Echo Barrier H9.....	65
Tabla 43 Niveles obtenidos en el Hospital con las telas acústicas.....	69
Tabla 44 Presupuesto del proyecto.....	71

---

## Lista de acrónimos

- ASCII: American Standard Code for Information
- BS: British Standards
- CE: Comisión Europea
- DC: Direct Current
- EN: Norma Europea
- FFT: Fast Fourier Transform
- GPL: General Public License
- IEC: International Electrotechnical Commission
- ISO: International Organization for Standardization
- JSON: JavaScript Object Notation
- ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
- OPCAT: Ordenanza de Protección contra la Contaminación Acústica y Térmica. Aprobada por el Ayuntamiento de Madrid.
- PED: Power Emission Day
- PEE: Power Emission Evening
- PEN: Power Emission Night
- PVC: Polyvinyl chloride
- QGIS: Quantum Geographic Information System
- RD: Real Decreto
- SIG: Sistema de Información Geográfica
- TIFF: Tagged Image File Format
- UNE: Una Norma Española



---

# Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de acrónimos.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Marco y motivación del proyecto.....	1
1.2 Objetivos técnicos y académicos.....	2
1.3 Estructura del resto de la memoria.....	2
<b>2. Marco tecnológico.....</b>	<b>5</b>
2.1 LimA.....	5
2.2 QGis.....	6
2.3 Sonómetro.....	7
2.4 Evaluator.....	9
<b>3. Legislación.....</b>	<b>11</b>
3.1 Índices.....	11
3.2 Normativa empleada.....	11
3.3 Componentes de penalización.....	14
3.3.1 Componentes de baja frecuencia.....	14
3.3.2 Componentes impulsivas.....	14
3.3.3 Componentes tonales.....	14
<b>4. Características del evento.....</b>	<b>17</b>
<b>5. Medidas.....</b>	<b>21</b>
5.1 Descripción de la localización.....	21
5.2 Condiciones meteorológicas.....	23
5.3 Condiciones de medida.....	25
5.4 Proceso de medición.....	25
<b>6. Resultados.....</b>	<b>27</b>
6.1 Incertidumbres.....	32
6.1.1 Incertidumbre típica ruido total.....	35
6.1.2 Incertidumbre típica ruido de fondo.....	36
6.1.3 Coeficientes de sensibilidad.....	36
6.1.4 Incertidumbre final.....	37
<b>7. Simulaciones.....</b>	<b>39</b>
7.1 Creación del proyecto en QGis.....	39
7.2 Simulación de niveles en LimA.....	45
7.2.1 Cálculo del nivel de potencia con receptores.....	50

---

7.2.2	Cálculo del nivel de potencia con mallas.....	53
7.2.3	Cálculo de gráficos .....	53
7.3	Montaje del mapa de ruido en QGis .....	55
<b>8.</b>	<b>Soluciones propuestas.....</b>	<b>59</b>
8.1	Reducción de niveles de emisión .....	59
8.2	Cambio de la posición de escenarios .....	61
8.3	Tela acústica .....	63
<b>9.</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>Impacto del proyecto .....</b>	<b>73</b>
<b>11.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>75</b>
<b>12.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>77</b>

# 1. Introducción

## 1.1 Marco y motivación del proyecto

El ruido es una de las mayores causas de contaminación a nivel mundial, siendo uno de los factores medioambientales que provoca más perjuicios en la salud. Uno de los efectos más conocidos causado por su exposición, es la pérdida de audición, pero no solo existen efectos auditivos, sino que se pueden encontrar trastornos respiratorios, cardiovasculares, digestivos, visuales y psicológicos, en función del tiempo y nivel de exposición a este factor. Existen distintos tipos de fuentes de ruido ambiental, siendo los más habituales el ruido de tráfico (viario, ferroviario y aéreo) y el ruido causado por actividades de ocio, como el producido por la restauración, discotecas o festivales.

El festival Jardín de las Delicias se celebró los días 22 y 23 de septiembre en el Complejo Deportivo Cantarranas situado en Ciudad Universitaria, Madrid. A su alrededor, se encuentran muchas de las facultades de la Universidad Complutense, además de la Biblioteca María Zambrano, el Palacio de la Moncloa, el Hospital Clínico San Carlos y el Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz. La zona en la que se ubican estos recintos, situados a menos de 1 kilómetro del recinto de celebración, se cataloga como áreas acústicas de tipo e, es decir, sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requieren una especial protección contra la contaminación acústica, cuyos objetivos de calidad son más restrictivos que el resto para garantizar la salud y bienestar de los ciudadanos.

A continuación, se muestra una tabla del Anexo I de la OPCAT [1] en donde se clasifican los tipos de Áreas Acústicas existentes:

**Tabla 1 Clasificación y Tipos de Áreas Acústicas**

Denominación R.D.1367/2007	Denominación municipal	Uso
e	Tipo I (Área de silencio)	Sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica
a	Tipo II (Área levemente ruidosa)	Residencial
d	Tipo III (Área tolerablemente ruidosa)	Terciario distinto del contemplado en el c)
c	Tipo IV (Área ruidosa)	Terciario con predominio del uso del suelo recreativo y de espectáculos
b	Tipo V (Área especialmente ruidosa)	Industrial

Denominación R.D.1367/2007	Denominación municipal	Uso
f	Tipo VI	Sistemas Generales de Infraestructuras de Transporte u otros equipamientos públicos que lo reclamen
g	Tipo VII	Espacios naturales que requieran una protección contra la contaminación acústica

El principal objetivo de este proyecto es obtener el ruido generado por el festival a través de mediciones in situ con un sonómetro y analizar los niveles en varias aplicaciones para comprobar si se ha cumplido con la legislación vigente, y en caso negativo, proporcionar las soluciones necesarias para garantizar el cumplimiento de los objetivos en las zonas perjudicadas.

## 1.2 Objetivos técnicos y académicos

Los objetivos de este proyecto fin de carrera son, desde el punto de vista técnico:

- Adquirir habilidades en el uso de softwares de cálculo como LimA
- Capacitarse con el manejo de creación de mapas de ruido con QGis
- Poner en práctica los conocimientos adquiridos con el sonómetro
- Dominar las fórmulas de cálculo acústico
- Trabajar con incertidumbres

Desde el punto de vista académico, el proyectista adquiere las siguientes competencias y habilidades:

- Interiorizar y aplicar la legislación vigente en el entorno acústico
- Mejorar las destrezas de cálculos de nivel acústico
- Tomar consciencia de la contaminación acústica y del impacto acústico de un gran evento

## 1.3 Estructura del resto de la memoria

En los próximos capítulos de la memoria se presenta una breve descripción de los softwares empleados, con sus características más importantes. A continuación, se explica la legislación aplicada, con los distintos índices acústicos medidos y los niveles permitidos. Después, se presentan información del evento junto con las localizaciones empleadas para las mediciones, las condiciones meteorológicas en cada zona y el proceso de medición impartido. Seguidamente se explican los resultados obtenidos a partir de tablas, junto con la incertidumbre de medida. Posteriormente, se ilustran las simulaciones realizadas con los softwares anteriormente mencionados, obteniendo mapas de ruido de la localización.

Por último, se exponen 3 posibles soluciones para evitar el exceso de nivel acústico en las zonas más afectadas.



## 2. Marco tecnológico

### 2.1 LimA

Es un sistema de cálculo de ruido [2]. Incluye funciones avanzadas de manipulación automatizada de datos, manejo geométrico y permite realizar cálculos precisos y eficientes sin necesidad de uso de otros programas. Ofrece una amplia gama de funciones de importación y exportación hacia otros programas como QGis o AutoCAD. Las características como la línea de comandos, macros y configuración combinadas con una interfaz familiar, convierte a LimA en uno de los paquetes de software de cálculo más potentes y flexibles del mercado.

Es un software en continuo desarrollo y por tanto cumple con los métodos de calidad como el "Framework for the Verification of Environmental Noise Calculation Software" ACOU 107 (2001) de Nordtest y el borrador de la norma alemana DIN 45687 (2004) relativa a los criterios de calidad del software de cálculo de ruido.

Se adapta a la cartografía de ruido a nivel nacional y urbano para cumplir con la Directiva 2002/49/CE de la Comisión Europea relativa a la evaluación y gestión de ruido ambiental.

Todos sus paquetes son adecuados para evaluaciones del impacto del ruido ambiental, y su diseño modular e intercambio de datos ASCII facilitan la integración con otros paquetes de software, de tal manera que los módulos de cálculo de LimA se pueden integrar en la gestión ambiental, gestión de tráfico y los SIG como núcleo de cálculo de ruido.

En la ilustración 1 se muestra una imagen de la vista general del software.

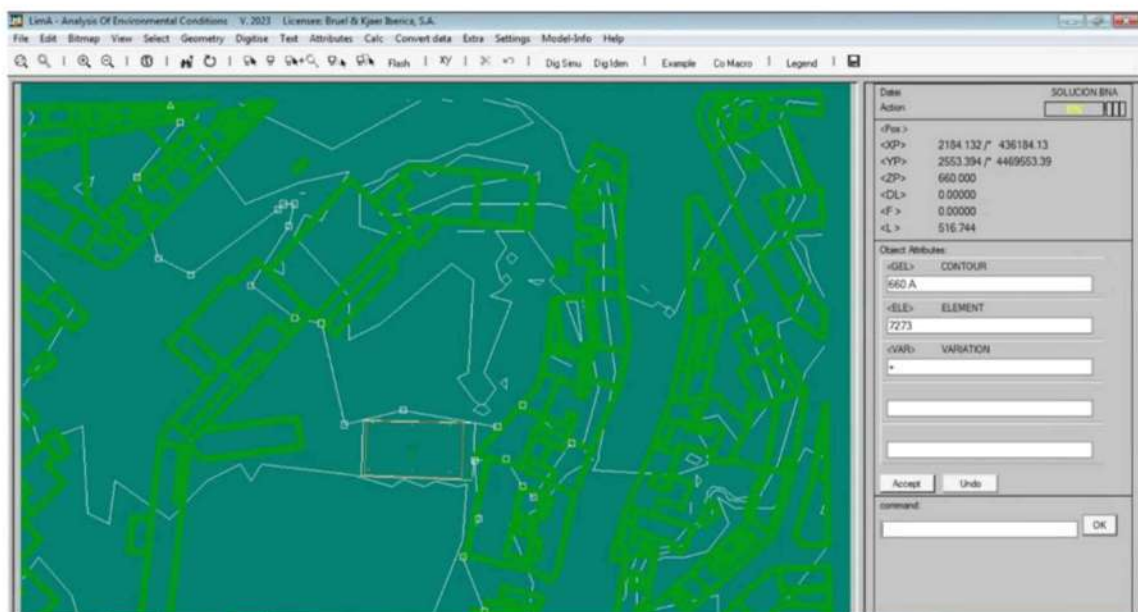


Ilustración 1 Vista general Software LimA 2023

## 2.2 QGis

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GPL (General Public License) [3]. Esto supone una accesibilidad completa a los usuarios sin necesidad de comprar una licencia. Soporta abundantes formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos.

Fue lanzado en 2002 como un proyecto dirigido por voluntarios bajo la Iniciativa de Software Libre Geoespacial (FOSSGIS). Desde entonces ha experimentado un desarrollo continuo.

Algunas características sobre este software son:

- Interfaz de usuario amigable: cuenta con una interfaz intuitiva que facilita su uso tanto a usuarios principiantes como avanzados.
- Licencia de código abierto: se distribuye bajo la Licencia Pública General (GNU) lo que significa que es de código abierto y gratuito para su uso y distribución.
- Soporte multiplataforma: es compatible con varios sistemas operativos como Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android, lo que lo hace accesible para una amplia gama de usuarios.
- Amplia gama de formatos de datos: es capaz de trabajar con una amplia variedad de formatos de datos geoespaciales incluyendo formatos vectoriales como Shapefile, GeoJSON y formatos ráster como GeoTIFF entre otros.
- Soporte para sistemas de coordenadas y proyecciones: esta característica permite al usuario trabajar con datos geoespaciales de diferentes partes del mundo.
- Herramientas de análisis espacial: ofrece numerosas herramientas para realizar análisis de proximidad, superposición de capas, interpolación espacial entre otras.
- Personalización y complementos: permite desarrollar e integrar complementos por la comunidad de usuarios, lo cual amplía aún más su capacidad.
- Gran comunidad de usuarios: usuarios y desarrolladores que contribuyen con el desarrollo del software, proporcionando soporte, documentación y desarrollando nuevas funcionalidades.

En la ilustración 2 se muestra una imagen de la vista general del programa mencionado.

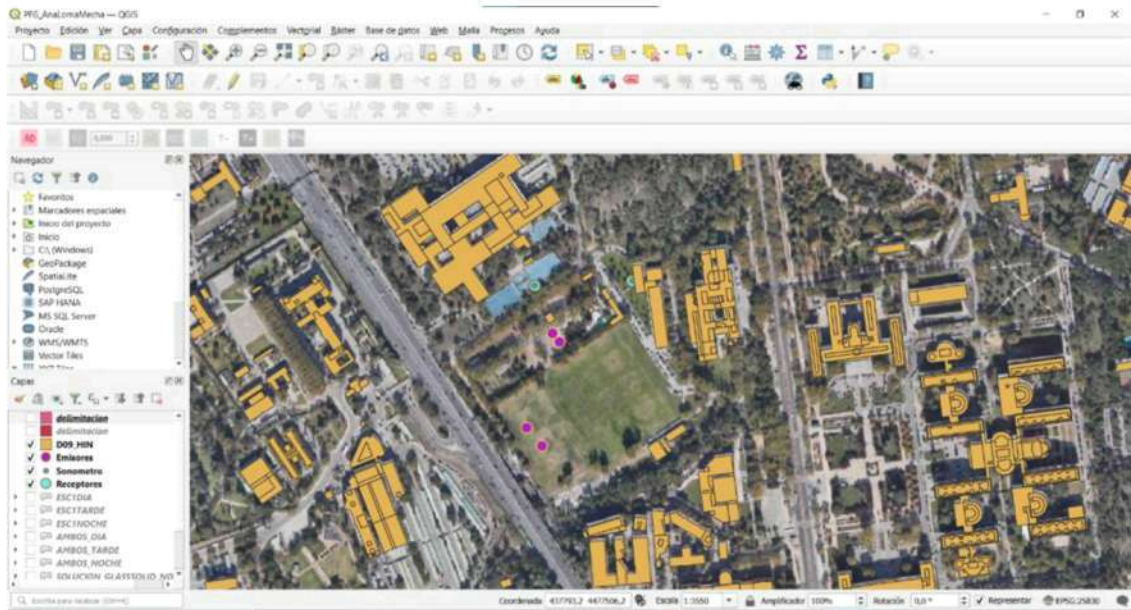


Ilustración 2 Vista general QGis

### 2.3 Sonómetro

Un sonómetro es un instrumento diseñado para medir niveles sonoros de forma normalizada [4]. Responde al sonido de una forma similar al del oído humano y proporciona medidas objetivas y reproducibles de los niveles de presión sonora.

Está formado por un micrófono, un preamplificador, un sistema de procesamiento de señal y una pantalla. El procesamiento incluye aplicar a la señal ponderaciones frecuenciales y temporales, conforme a las especificaciones de las normas internacionales.

- Ponderación temporal: especifica los cambios de reacción del sonómetro ante la presión sonora. El sonómetro aplica ponderaciones Fast, Slow e Impulso (F, S o I).

En la ilustración 3 se muestra un ejemplo gráfico de las curvas de ponderación temporal.

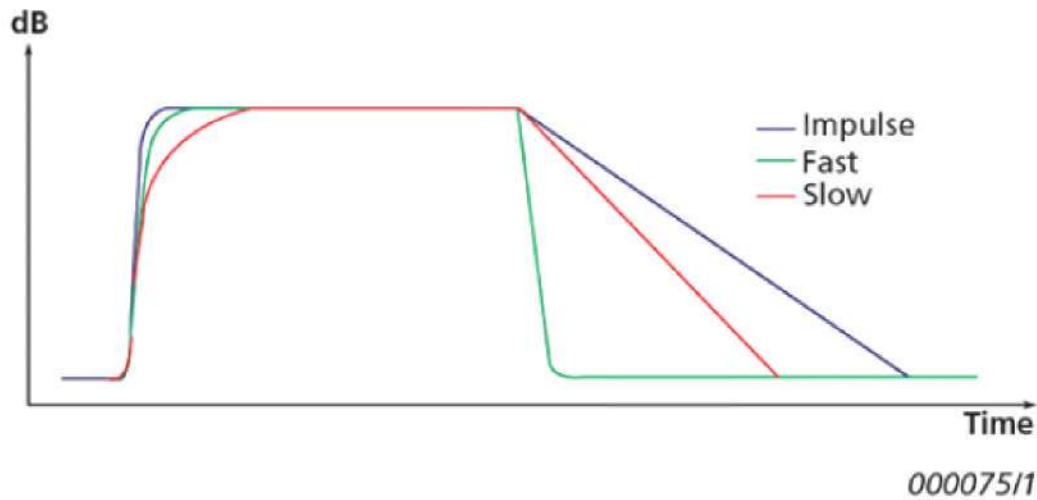


Ilustración 3 Curva de ponderación temporal. Fuente: [4]

- Ponderación frecuencial: ajusta la respuesta del sonómetro a sonidos con distintas frecuencias, de manera que se puede adaptar a una respuesta similar al del oído humano. La norma que define las ponderaciones de frecuencia es la IEC 61672-1.
  - Ponderación A (dBA/dB(A)): esta ponderación es la que más se asemeja a la respuesta del oído humano. Se basa en la curva de igual sonoridad de 40 dB y se emplea en numerosas medidas ambientales, cubriendo un espectro de 10 Hz a 20 KHz, es decir, todo el espectro auditivo percibido por el ser humano.
  - Ponderación C (dBC/dB(C)): corresponde a una curva de sonoridad de 100 dB y se emplea principalmente para evaluar valores pico con niveles de presión sonora elevados.
  - Ponderación Z (dBZ/dB(Z)): corresponde a una respuesta en frecuencia plana, sin ponderación alguna.
- Calibración: es un ajuste imprescindible que se lleva a cabo en el sonómetro por un laboratorio homologado para que los valores que se miden y se muestran en pantalla sean los correctos. La sensibilidad del transductor y la respuesta de los circuitos pueden variar a lo largo del tiempo o verse afectados por las condiciones meteorológicas como la temperatura o la humedad, por ello es necesario, aparte de realizar una calibración en el laboratorio cada 12 meses, realizar una verificación antes y después de realizar cada medida mediante un calibrador acústico portátil.
- Normas aplicadas a los sonómetros: la norma "IEC 61672, Electroacústica. Sonómetros" es la norma internacional que deben cumplir los sonómetros, dividida en 3 partes:
  - Parte 1: Especificaciones: define las prestaciones y la funcionalidad de los sonómetros de la clase 1 y 2.

- **Parte 2:** Ensayos de evaluación de modelo con detalles para la verificación de las especificaciones obligatorias.
- **Parte 3:** Ensayos periódicos donde describen los procedimientos de los ensayos a los que se deben someter periódicamente los sonómetros de la clase 1 o 2.

Para este estudio se utilizó el sonómetro 2260 Investigator de Brüel & Kjaer[5]. Contiene un analizador modular que soporta programas de aplicación dedicados a la medida y análisis de ruido y vibraciones. En este caso, su plataforma usa el Programa de Análisis Sonoro BZ7201. Mediante una técnica llamada Multi-D, el aparato mide, analiza y registra todos los parámetros e información. Este sonómetro es de tipo 1, con 2 canales de medida en tiempo real. Recoge las entradas del transductor acústico y envía la señal a un convertidor A/D, desde donde se procesa de manera digital y se envían los datos a los dispositivos de salida. Necesita alimentación de 12V en DC o 6 pilas tipo LR14 para poder funcionar y dispone de una pantalla LCD desde donde se pueden visualizar todas sus funciones. Fue uno de los primeros sonómetros en emplear un concepto modular, es decir, su hardware puede ejecutar distintas aplicaciones simultáneamente.

## **2.4 Evaluator**

Es un software de Brüel & Kjaer compatible con Windows mediante el cual es posible realizar cálculos de nivel de evaluación sonora a partir de medidas realizadas con un sonómetro propio de la marca. Tiene en cuenta las horas del día, la naturaleza del ruido y su nivel general.

Permite visualizar los datos de medida en una tabla, pudiendo seleccionar los distintos indicadores de interés y además representar gráficamente de varias maneras. Cuenta con herramientas y funciones avanzadas que permiten la grabación y reproducción del sonido, la evaluación tonal mediante espectros FFT y la descarga remota de datos desde el sonómetro.

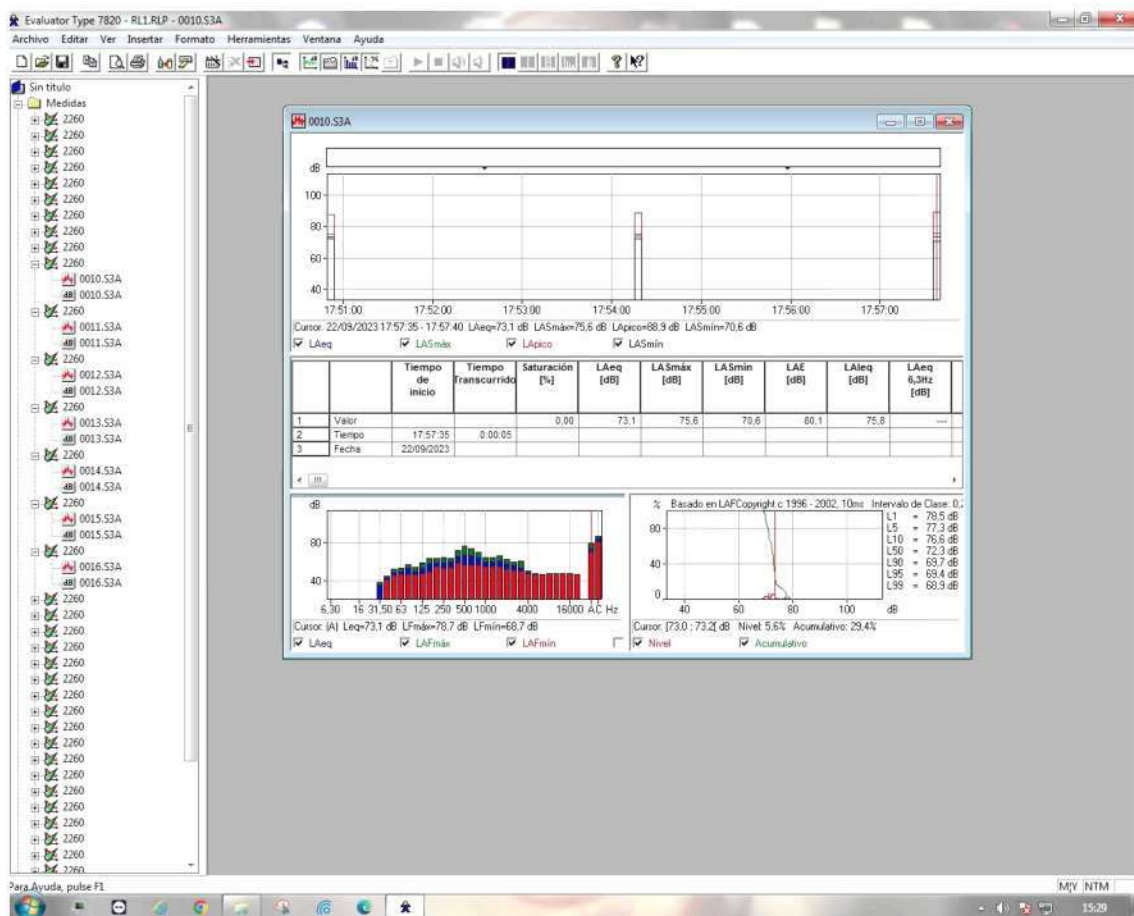


Ilustración 4 Vista de una medida en Evaluator

## 3. Legislación

### 3.1 Índices

Según lo establecido en el RD 1367/2007 [6] se definen los siguientes índices:

- $L_{Aeq,T}$ : Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de T segundos, definido en la norma ISO 1996-1: 1987.
- $L_{Ceq,T}$ : Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado C, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de T segundos, definido en la norma ISO 1996-1: 1987.
- $L_{Aeq,T}$ : Nivel de presión sonora con la constante temporal impulsiva, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de T segundos.
- $L_{keq,T}$ : índice de ruido corregido del periodo temporal T. Es el índice de ruido asociado a la molestia o a los efectos nocivos por la presencia en el ruido de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, durante un periodo de tiempo T.
- Kt: parámetro de corrección asociado al índice  $L_{keq,T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes tonales emergentes, calculado por aplicación de la metodología.
- Kf: parámetro de corrección asociado al índice  $L_{keq,T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes de baja frecuencia, calculado por aplicación de la metodología.
- Ki: parámetro de corrección asociado al índice  $L_{keq,T}$  para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de ruido de carácter impulsivo, calculado por aplicación de la metodología.

### 3.2 Normativa empleada

Atendiendo a lo dispuesto en la legislación estatal vigente, concretamente en los artículos 24 y 25 del Real Decreto (RD) 1367/2007[6], de 19 de octubre, así como en la Ordenanza de Protección contra la Contaminación Acústica y Térmica (OPCAT) [1], de 25 de febrero de 2011, a través de su artículo 15, toda actividad deberá garantizar el cumplimiento de unos valores límite de inmisión al medio ambiente exterior.

En este proyecto, se van a aplicar los criterios establecidos por la OPCAT, sin embargo, se va a explicar tanto la normativa de esta ordenanza como la del Real Decreto para ver sus similitudes y diferencias.

- En el artículo 25 b) del RD 1367/2007 se establecen 3 premisas:
  - i. Ningún valor promedio del año supera los valores fijados en la correspondiente tabla B1 o B2, del anexo III.

- ii. Ningún valor diario supera en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla B1 o B2, del anexo III.
- iii. Ningún valor medio del índice  $L_{K_{eq},T_i}$  supera en 5 dB los valores fijados en la correspondiente tabla B1 o B2, del anexo III.

**Tabla 2 Valores límite de inmisión de ruido aplicables a infraestructuras portuarias y a actividades. Tabla B1 del Anexo III del RD 1367/2007**

Tipos de Área Acústica		Índices de ruido		
		$L_{k,d}$	$L_{k,e}$	$L_{k,n}$
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural, que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	50	50	40
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	55	55	45
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c	60	60	50
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos	63	63	53
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	65	65	55

**Tabla 3 Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades. Tabla B2 del Anexo III del RD 1367/2007**

Uso del local colindante	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		$L_{k,d}$	$L_{k,e}$	$L_{k,n}$
Residencial	Zonas de estancias	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	35	35	35
	Oficinas	40	40	40
Sanitario	Zonas de estancia	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
Educativo o cultural	Aulas	35	35	35
	Salas de lectura	30	30	30

- En el artículo 15 de la OPCAT se regula el nivel  $L_{KA_{eq},T_i}$  en lugar del  $L_{K_{eq},T_i}$ . Ambos índices son compatibles variando en la corrección por ponderación.

Respecto al proceso de medición, ambas legislaciones establecen un criterio similar:

- Se deberá realizar la medición en el punto de evaluación donde el valor sea más alto, a una distancia mínima de 1,5 metros del suelo y 1,2 metros de la fachada según RD y de 1,5 metros según la OPCAT.

- Se establece un mínimo de 3 mediciones, con un periodo temporal de evaluación,  $T_i$ , mínimo de 5 segundos en caso del RD y un periodo fijo de 5 segundos en caso de la OPCAT.

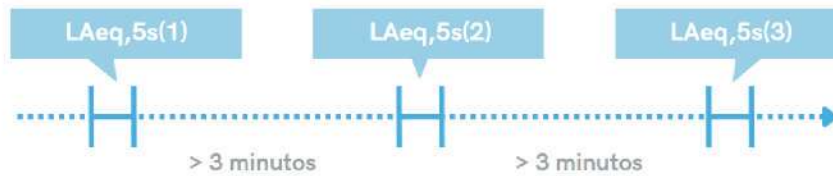


Ilustración 5 Serie de mediciones para la evaluación del indicador  $L_{keq}$

- Se establece una variación máxima entre las mediciones extremo, de 6 dBA en el RD y de 4 dBA en la OPCAT. En caso de repetirse varias veces series no válidas, se deberá investigar su origen y realizar varias mediciones de ese foco sonoro, concretamente 5 mediciones según RD y 3 mediciones según la OPCAT.
- Para la determinación del nivel de ruido de fondo se procederá de manera análoga.
- Finalmente, se tomará como resultado el valor más alto de los obtenidos, debidamente corregido por el ruido de fondo.

Respecto a los puntos discordantes de ambos textos, cabe destacar lo siguiente:

- En la OPCAT no se establece la necesidad de comprobar el cumplimiento de los valores límite promedio anuales y diarios, tan solo regula el indicador  $L_{KAeq,Ti}$ .
- En el RD se selecciona la medición con el nivel  $L_{keq}$ , es decir, considerando las distintas penalizaciones por tonalidad, impulsividad y baja frecuencia, mientras que en la OPCAT se selecciona la medición de  $L_{Aeq}$  más elevado y sólo se evalúan las penalizaciones de esta medición.

El índice  $L_{KAeq,5s}$  se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L_{KAeq,5s} = L_{Aeq,5s} + kt + kf + ki \quad (1)$$

Para la corrección por ruido de fondo de cada uno de los indicadores, debe considerarse un fondo similar al existente durante la medición de la actividad. Si la diferencia entre el nivel de fondo y de la actividad es superior a 10 dB, no será necesario aplicar corrección, mientras que, si la diferencia es menor a 3 dB, la medida no será válida y se deberá repetir. Sin embargo, si la diferencia es superior a 3 dB e inferior a 10 dB, se realizará la corrección dada por la ecuación 2:

$$L_{act_{corregida}} = 10 * \log_{10} \left( 10^{\frac{L_{actividad+fondo}}{10}} - 10^{\frac{L_{fondo}}{10}} \right) \quad (2)$$

### 3.3 Componentes de penalización

El valor máximo de penalización ( $k_t + k_f + k_i$ ) no será superior a 9 dB.

#### 3.3.1 Componentes de baja frecuencia

Se calculará la diferencia entre los valores  $L_{Aeq,Ti}$  y  $L_{Ceq,Ti}$  previamente corregidos por ruido de fondo dado por la ecuación 3.

$$L_f = L_{Ceq,Ti} - L_{Aeq,Ti} \quad (3)$$

Se determinará la presencia o ausencia de componentes de baja frecuencia a partir del parámetro de corrección  $K_f$  aplicando los rangos de la tabla 4:

Tabla 4 Penalización por baja frecuencia

Lf (dB)	Componente de baja frecuencia Kf (dB)
Lf <= 10	0
10 >Lf<=15	3
Lf>15	6

#### 3.3.2 Componentes impulsivas

Se calculará la diferencia entre los valores de  $L_{Aeq,Ti}$  y  $L_{A1eq,Ti}$ , previamente corregidos por ruido de fondo dado por la ecuación 4.

$$L_i = L_{A1eq,Ti} - L_{Aeq,Ti} \quad (4)$$

Se determinará la presencia o ausencia de componentes impulsivos a partir del parámetro de corrección  $K_i$  aplicando los rangos de la tabla 5:

Tabla 5 Penalización por impulsividad

Li (dB)	Componente de impulsividad Ki (dB)
Li <= 10	0
10 >Li<=15	3
Li>15	6

#### 3.3.3 Componentes tonales

Se realizará un análisis espectral de ruido en 1/3 de octava sin filtro y se calculará la diferencia dada por la ecuación 5:

$$L_t = L_f - L_s \quad (5)$$

Donde:

- $L_f$  es el nivel de presión sonora de la banda  $f$ , que contiene el tono emergente.
- $L_s$  es la media aritmética de los dos niveles siguientes, el de la banda situada inmediatamente por encima de  $f$  y el de la banda situada inmediatamente por debajo de  $f$ .

Se determinará la presencia o ausencia de componentes tonales a partir del parámetro de corrección  $K_t$  aplicando los rangos de la tabla 6:

**Tabla 6 Penalización por componentes tonales**

Banda de frecuencia 1/3 de octava	$L_t$ (dB)	Componente tonal $K_t$ (dB)
De 20 a 125 Hz	$L_t < 8$	0
	$8 \leq L_t \leq 12$	3
	$L_t > 12$	6
De 160 a 400 Hz	$L_t < 5$	0
	$5 \leq L_t \leq 8$	3
	$L_t > 8$	6
De 500 a 10.000 Hz	$L_t < 3$	0
	$3 \leq L_t \leq 5$	3
	$L_t > 5$	6

El valor del nivel sonoro resultante está dado por la ecuación 6:

$$L_{KAeq,5s} = L_{Aeq,5s} + K_i + K_f + K_t \quad (6)$$

El valor resultante se redondeará incrementándolo en 0,5 dBA y tomando la parte entera como resultado final.

A partir del resultado obtenido, se debe evaluar el Artículo 15 de la OPCAT, "Límites de niveles sonoros transmitidos al medio ambiente exterior" comprobando la no superación de los límites establecidos en la tabla 7:

**Tabla 7 Límites Acústicos Artículo 15 OPCAT**

Tipo de Área Acústica		Límite Según Periodo Descriptor Empleado		
		$L_{KAeq,5s}$		
		DÍA	TARDE	NOCHE
e	I	50	50	40
a	II	55	55	45
d	III	60	60	50
c	IV	63	63	53
b	V	65	65	55

Tal y como cita el Artículo 15:

1. *Toda instalación, establecimiento, actividad o comportamiento deberá respetar los límites de transmisión al medio ambiente exterior en función de las áreas acústicas receptoras.*

*Estos límites se considerarán cumplidos cuando los valores de los índices acústicos evaluados conforme a los procedimientos establecidos en el apartado 1 del anexo III no excedan en ningún caso en 5 dB o más el límite de aplicación fijado en la tabla anterior.*

## **4. Características del evento**

El Festival Jardín de las Delicias es un evento celebrado anualmente desde 2018 hasta la actualidad en el recinto Cantarranas de la Universidad Complutense, que cuenta con un aforo de 20.000 personas. Dentro del recinto hay 2 escenarios, el principal, orientado hacia la Facultad de Ciencias de la Información y el escenario Bosque, el secundario, orientado hacia la A-6.

En los alrededores del recinto, se encuentran varias de las facultades de la Universidad Complutense como son la anteriormente mencionada Facultad de Ciencias de la Información, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y más alejadas del recinto la Facultad de Farmacia, de Medicina y de Odontología, entre otras. A 1,5 kilómetros del espacio, se localiza el Hospital Clínico San Carlos y el Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz, siendo estos los receptores más sensibles.

En esta cuarta edición, los horarios fueron los siguientes [7]:

- **Viernes 22:**
  - Escenario principal:
    - 16:00 horas: Marlina
    - 17:15 horas: Raule
    - 18:45 horas: Maldita Nerea
    - 20:15 horas: Sidecars
    - 22:00 horas: Vetusta Morla
    - 00:00 horas: Dani Fernández
    - 01:30 horas: Dorian
  
  - Escenario Bosque (secundario)
    - 15:30 horas: Amigo Buster
    - 16:30 horas: Yoly SAA
    - 17:30 horas: Hey Kid
    - 18:30 horas: Hologramma
    - 19:30 horas: Besmaya
    - 20:30 horas: Pavlenha
    - 21:30 horas: Lemot
    - 22:30 horas: Pablo Bustos
    - 23:15 horas: Barce
    - 00:00 horas: Los Gilca
    - 00:45 horas: Mickey Pavón

- **Sábado 23 :**
  - **Escenario principal:**
    - 15:00 horas: Paula Mattheus
    - 16:15 horas: Sofía Ellar
    - 17:45 horas: Pol Granch
    - 19:00 horas: Pîgnoise
    - 20:30 horas: Camela
    - 22:00 horas: Taburete
    - 00:00 horas: Melendi
    - 01:30 horas: Juan Magán
  
  - **Escenario Bosque (secundario)**
    - 14:30 horas: Cheti
    - 15:30 horas: Mafalda Cardenal
    - 16:30 horas: Comandante Twin
    - 17:30 horas: JavyPablo
    - 18:30 horas: Inazio
    - 19:30 horas: Malmö 040
    - 20:30 horas: Íñigo Merino
    - 21:30 horas: Yeico x Tony
    - 22:30 horas: Ivan MG
    - 23:15 horas: Juan Valiente
    - 00:00 horas: Nacho Campo
    - 00:45 horas: Ardiya



Ilustración 6 Cartel Festival Jardín de las Delicias 2023



## 5. Medidas

### 5.1 Descripción de la localización

Se han escogido dos lugares de medida cercanos al recinto y un tercero situado las puertas del Hospital Clínico San Carlos para evaluar el impacto en una zona hospitalaria.

La primera localización se encuentra en las coordenadas 40.4459936, -3.7297115, a las puertas de la facultad de ciencias de la información. Esta localización es la más cercana al recinto del festival situándose a 240 metros del escenario principal. En la siguiente imagen se muestra la disposición del sonómetro en la zona:



**Ilustración 7 Localización del primer lugar de medida**

La segunda localización se encuentra en las coordenadas 40.4458915, -3.7312042, cerca de la Escuela Técnica Superior de ingenieros, situándose a 70 metros del escenario secundario. En la siguiente imagen se muestra la disposición del sonómetro en la zona:



**Ilustración 8 Localización del segundo lugar de medida**

La tercera localización se encuentra en las coordenadas 40.4413701, -3.7216851, en la calle de Manuel Bartolomé Cossío 4, 28040, en la fachada del Hospital Clínico San Carlos, situándose a 1,36 kilómetros del escenario. En la siguiente imagen se muestra la disposición del sonómetro en la zona:



**Ilustración 9 Localización del tercer lugar de medida**

En la ilustración 10, se muestra una vista aérea obtenida de Google Maps con las posiciones de las 3 localizaciones seleccionadas y el recinto del festival:



Ilustración 10 Vista aérea de las 3 localizaciones de medida y el lugar del evento en amarillo

## 5.2 Condiciones meteorológicas

Al ser mediciones de pocas muestras y no considerar toda la variedad meteorológica, se deben medir como requisito mínimo la velocidad, dirección del viento, humedad relativa y la temperatura, además de aportar información sobre la estabilidad atmosférica y las precipitaciones de haberlas. A partir de esta información, se pueden definir unas condiciones de propagación en la dirección de la distancia más corta entre receptor y fuente, empleando las ventanas meteorológicas dictadas en la UNE ISO 1996 [8] de la tabla 8:

Tabla 8 Ventanas meteorológicas

Ventanas meteorológicas	D/R <sub>cur</sub> Rango	D/R <sub>cur</sub> Valor representativo	Descripción verbal
M1 <sup>a</sup>	<-0,04	-0,08	Desfavorable
M2 <sup>b</sup>	-0,04 ... 0,04	0,00	Neutra
M3 <sup>c</sup>	0,04 ... 0,12	0,08	Favorable
M4 <sup>d</sup>	>0,12	0,16	Muy favorable

<sup>a</sup> Valor típico de la componente de la velocidad vectorial del viento a 10m, <1m/s y <-1m/s de día y de noche, respectivamente.

<sup>b</sup> Valor típico de la componente de la velocidad vectorial del viento a 10 m, 1 m/s a 3 m/s

<sup>c</sup> Valor típico de la componente de la velocidad vectorial del viento a 10 m, de 3 m/s a 6 m/s.

<sup>d</sup> Valor típico de la componente de la velocidad del viento a 10 m, >6 m/s y ≥ -1 m/s de día y de noche, respectivamente.

En este caso, las condiciones meteorológicas se obtuvieron a partir de la base meteorológica online de Moncloa-Aravaca [9] en el momento de medida, y se muestran en las tablas 9, 10 y 11:

**Tabla 9 Condiciones Meteorológicas durante la medición del ruido de la actividad, periodo completo**

Viernes 22 septiembre			
Periodo	Día	Tarde	Noche
Hora	18h	20h	23h
Temperatura	19°C	19°C	14°C
Humedad Relativa	0%	0%	0%
Dirección del viento	NO	NNO	N
Velocidad del viento	1,67-7,22 m/s	1,399-6,11 m/s	0,83-3,89 m/s

**Tabla 10 Condiciones Meteorológicas durante la medición del ruido de fondo, periodo diurno**

Domingo 24 septiembre			
Periodo	Día	Tarde	Noche
Hora	17h	X	X
Temperatura	26°	X	X
Humedad	0%	X	X
Dirección del viento	O	X	X
Velocidad del viento	0,28-1,94 m/s	X	X

**Tabla 11 Condiciones Meteorológicas durante la medición del ruido de fondo, periodos vespertino y nocturno**

Domingo 1 octubre			
Periodo	Día	Tarde	Noche
Hora	X	19h	23h
Temperatura	X	24°	15°
Humedad	X	0%	0%
Dirección del viento	X	NO	N
Velocidad del viento	X	1,67-2,22 m/s	1,94-2,78 m/s

A continuación, se muestra un gráfico obtenido de la base meteorológica de Moncloa-Aravaca [9] el día del evento, que contiene la variación de temperatura, precipitaciones y velocidad del viento a lo largo de mediados del mes de septiembre y principios de octubre.

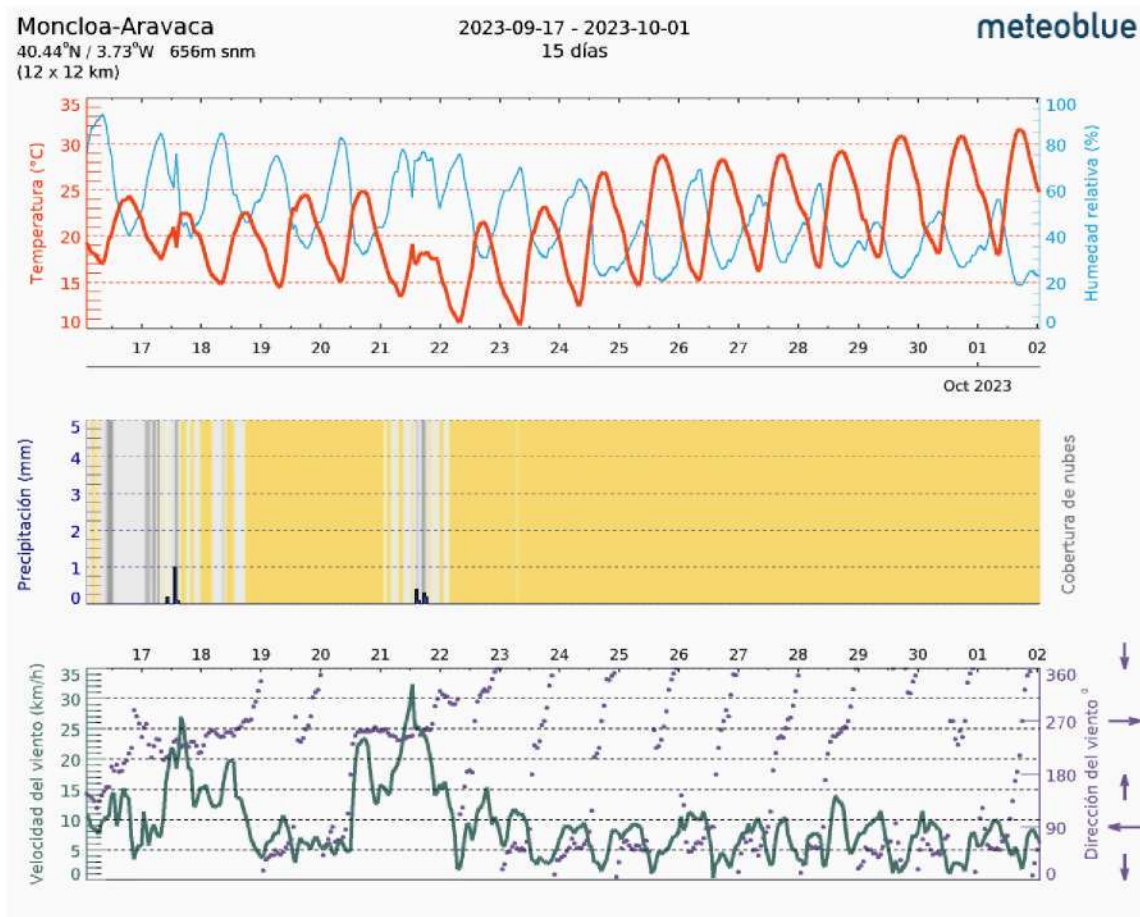


Gráfico 1 Variación de la temperatura, precipitación y velocidad del viento

### 5.3 Condiciones de medida

Las medidas acústicas se realizaron siguiendo el Anexo III de la OPCAT.

- La distancia entre instrumento y suelo debe ser mayor a 1,2 metros
- La distancia entre instrumento y fachada debe ser mayor a 1,5 metros
- Antes y después de cada medición se realizará una verificación acústica de la cadena de medición mediante un calibrador.
- El micrófono deberá ser dotado de un elemento de protección (pantalla anti-viento)

### 5.4 Proceso de medición

Se realizó, para cada localización y periodo, una serie de 3 mediciones de 5 segundos de duración con una separación de 3 minutos entre mediciones. Para cada serie, se recogió el nivel  $L_{Aeq,5s}$ ,  $L_{Ceq,5s}$ ,  $L_{A1eq,5s}$  y los niveles  $L_{Zeq}$  por bandas de tercio de octava.

Se comprobó que, para los valores extremos de  $L_{Aeq,5s}$ , se cumplía una diferencia menor a 4 dBA entre serie y serie. En algunas situaciones se tuvo que repetir la serie debido a ruidos ajenos a la actividad como el paso de vehículos por las carreteras más cercanas.

Para el ruido de fondo se actuó de manera análoga.

## *Medidas*

---

Una vez hechas las mediciones, se obtuvieron los datos a través del software Evaluator, propio del sonómetro, pasando de uno en uno las mediciones a una tabla de Excel.

## 6. Resultados

Una vez empezados los cálculos, se pudo comprobar que el preamplificador que se empleó para las mediciones presentaba problemas. Esta comprobación se realizó mediante un gráfico, donde se podía ver que, para la señal en alta frecuencia, el nivel de la actividad y el del ruido de fondo presentaban los mismos valores. Por tanto, se tuvieron que descartar las medidas a partir de 5 KHz, quedando un espectro final de 63Hz a 5KHz.

En el gráfico 2 se pueden ver las diferencias entre el nivel de ruido de fondo y el nivel de la actividad de una de las mediciones.

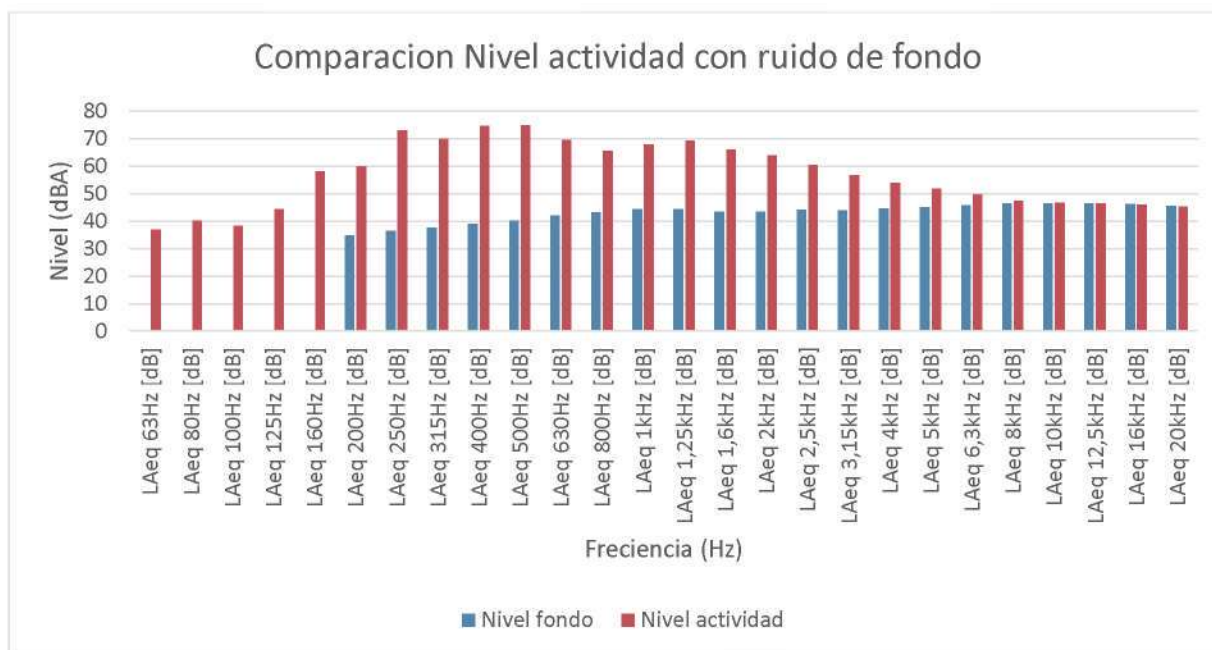


Gráfico 2 Comparación del nivel de una medición de ruido de fondo con el nivel de la actividad

Debido a esto, se tuvo que realizar el cálculo de los índices  $L_{Aeq,5s}$ ,  $L_{Ceq,5s}$ ,  $L_{A1eq,5s}$  a través de los niveles frecuenciales de la banda mencionada. En este caso, ya no se puede cumplir la diferencia de 4 dB entre niveles extremos como dicta la OPCAT, dándose por válidos todos los resultados.

En la tabla 12, se pueden observar los valores de los 3 indicadores calculados, tanto para el nivel de la actividad como para el ruido de fondo. Estos valores se han añadido a la tabla en función del periodo y de la posición.

Tabla 12 Resultados de las mediciones

PERIODO	POSICIÓN	MEDIDA	LAeq	LAleq	LCeq	LAeq RF	LAleq RF	LCeq RF
DIA	1	1	73,14	75,45	73,11	53,25	56,87	53,47
		2	73,71	76,02	73,67	54,00	63,42	55,05
		3	72,99	75,77	72,96	54,28	60,9	55,30
TARDE		1	71,81	73,38	71,75	55,01	61,2	55,99
		2	68,65	69,91	68,57	55,51	63,02	56,30
		3	72,38	73,60	72,32	55,56	58,22	56,30
NOCHE		1	79,42	82,73	79,37	53,83	58,15	54,06
		2	81,29	84,50	81,24	53,80	61,25	54,11
		3	76,78	77,79	76,72	53,80	57,16	55,75
DIA	2	1	76,79	78,62	76,78	61,48	62,3	67,31
		2	77,55	78,77	77,51	58,15	60,61	59,99
		3	73,82	74,86	73,75	56,93	59,12	65,69
TARDE		1	79,47	81,64	79,45	57,35	61,36	59,83
		2	78,30	79,75	78,29	62,13	63,05	62,70
		3	78,31	80,33	78,29	56,57	58,74	57,62
NOCHE		1	78,38	79,8	78,34	54,36	61,74	55,45
		2	80,98	82,76	80,94	55,91	58,24	56,75
		3	80,99	82,5	80,98	55,09	57,98	55,96
DIA	3	1	57,19	59,63	56,99	53,57	63,65	53,96
		2	57,57	59,61	57,37	53,45	57,03	53,81
		3	57,37	59,63	57,16	53,72	57,75	55,22
TARDE		1	56,91	61,72	56,65	54,72	57,57	55,43
		2	57,54	59,53	57,38	54,71	58,77	55,22
		3	57,26	59,21	57,07	54,44	59,28	55,16
NOCHE		1	55,95	59,44	55,73	54,99	58,18	57,91
		2	57,01	59,41	56,82	53,79	57,8	54,17
		3	59,43	61,27	59,31	54,33	58,42	55,33

Los valores más oscuros situados en la columna medida, corresponden con los valores de mayor  $L_{Aeq,5s}$  de cada medición, mientras que la banda amarilla representada en las mediciones de los 3 indicadores de ruido de fondo, corresponden con la banda de mayor  $L_{Aeq,5s}$  del fondo.

A continuación, en la tabla 13, se muestran los resultados corregidos por el ruido de fondo correspondiente:

Tabla 13 Resultados corregidos por Ruido de Fondo

PERIODO	POSICION	MEDIDA	CORRECCION POR RF		
			LAeq	LAI	LC
DIA	1	1	73,14	75,45	73,11
		2	73,71	76,02	73,67
		3	72,99	75,77	72,96
TARDE		1	71,81	73,38	71,75
		2	68,65	69,91	68,57
		3	72,38	73,60	72,32
NOCHE		1	79,42	82,73	79,37
		2	81,29	84,50	81,24
		3	76,78	77,79	76,72
DIA	2	1	76,79	78,62	76,26
		2	77,55	78,77	77,51
		3	73,82	74,86	72,64
TARDE		1	79,47	81,64	79,45
		2	78,30	79,75	78,29
		3	78,31	80,33	78,29
NOCHE		1	78,38	79,80	78,34
		2	80,98	82,76	80,94
		3	80,99	82,50	80,98
DIA	3	1	54,60	59,63	56,99
		2	55,26	59,61	57,37
		3	54,92	59,63	57,16
TARDE		1	56,91	59,61	56,65
		2	57,54	59,53	57,38
		3	57,26	59,21	57,07
NOCHE		1	55,95	59,44	55,73
		2	57,01	59,41	56,82
		3	57,49	58,34	59,31

Una vez corregidos los índices por ruido de fondo, se procede a calcular las componentes tonales, de baja frecuencia y de impulsividad, mostrados en la tabla 14.

Tabla 14 Componentes de impulsividad, baja frecuencia y tonalidad

PERIODO	POSICION	MEDIDA	IMPULSIVIDAD		BAJA FRECUENCIA		TONAL
			Li	Ki	Lf	Kf	kt
DIA	1	1	2,31	0,00	-0,03	0,00	3,00
		2	2,31	0,00	-0,03	0,00	3,00
		3	2,78	0,00	-0,04	0,00	3,00
TARDE		1	1,57	0,00	-0,07	0,00	0,00
		2	1,26	0,00	-0,08	0,00	3,00
		3	1,22	0,00	-0,06	0,00	6,00
NOCHE		1	3,31	0,00	-0,05	0,00	6,00
		2	3,21	0,00	-0,05	0,00	6,00
		3	1,01	0,00	-0,06	0,00	3,00
DIA	2	1	1,83	0,00	-0,53	0,00	3,00
		2	1,22	0,00	-0,04	0,00	3,00
		3	1,04	0,00	-1,18	0,00	3,00
TARDE		1	2,17	0,00	-0,02	0,00	6,00
		2	1,45	0,00	-0,02	0,00	3,00
		3	2,02	0,00	-0,02	0,00	0,00
NOCHE		1	1,42	0,00	-0,04	0,00	6,00
		2	1,78	0,00	-0,04	0,00	6,00
		3	1,51	0,00	-0,01	0,00	3,00
DIA	3	1	5,03	0,00	2,39	0,00	3,00
		2	4,35	0,00	2,11	0,00	3,00
		3	4,71	0,00	2,25	0,00	3,00
TARDE		1	2,71	0,00	-0,25	0,00	3,00
		2	1,99	0,00	-0,16	0,00	3,00
		3	1,95	0,00	-0,19	0,00	3,00
NOCHE		1	3,49	0,00	-0,21	0,00	3,00
		2	2,40	0,00	-0,20	0,00	3,00
		3	0,84	0,00	1,82	0,00	3,00

Finalmente, se obtienen los valores de  $L_{keq}$  para cada periodo y posición, representados en la tabla 15.

Tabla 15 Valores de Lkeq,5s

PERIODO	POSICION	MEDIDA	Lkeq,5s
DIA	1	1	76,14
		2	76,71
		3	75,99
TARDE		1	71,81
		2	71,65
		3	78,38
NOCHE		1	85,42
		2	87,29
		3	79,78
DIA	2	1	79,79
		2	80,55
		3	76,82
TARDE		1	85,47
		2	81,30
		3	78,31
NOCHE		1	84,38
		2	86,98
		3	83,99
DIA	3	1	57,60
		2	58,26
		3	57,92
TARDE		1	59,91
		2	60,54
		3	60,26
NOCHE		1	58,95
		2	60,01
		3	60,49

El resultado final se obtiene sumando 0,5 dB al resultado obtenido a partir de la ecuación (6) y redondeando a la parte entera. El resultado final de las mediciones viene dado en la tabla 16:

Tabla 16 Valores finales de  $L_{keq,5s}$ 

PERIODO	POSICIÓN	$L_{keq,5s}$
DIA	1	77
TARDE		78
NOCHE		87
DIA	2	81
TARDE		85
NOCHE		84
DIA	3	58
TARDE		61
NOCHE		60

Analizando los resultados obtenidos y comparándolo con los criterios anteriormente mencionados de la OPCAT, el valor máximo de  $L_{keq,5s}$  debe corresponder con el valor máximo de  $L_{Aeq,5s}$ . Esto se cumple para todos los casos exceptuando la medición realizada durante el periodo nocturno de la posición 2, donde el valor mayor de  $L_{Aeq,5s}$  se encuentra en la tercera medida, pero al tener mayor penalización la segunda medida, es esta la que obtiene mayor  $L_{keq,5s}$ . En la tabla 17 se puede observar como el mayor valor de  $L_{keq,5s}$ , que corresponde a 86,98 dB, se calcula a partir de un valor de  $L_{Aeq,5s}$  de 80,98 dB, mientras que, para el mayor valor de  $L_{Aeq,5s}$  que corresponde a 80,99 dB, se obtiene un valor de  $L_{keq,5s}$  bastante inferior de 83,99 dB.

Tabla 17 Mediciones del periodo nocturno de la posición 2

Medición	$L_{Aeq,5s}$	$L_{keq,5s}$
1	78,38	84,38
2	80,98	86,98
3	80,99	83,99

Sin embargo, en la segunda medición, aparecen más componentes tonales que en la tercera, y por ese motivo el valor  $L_{keq,5s}$  resultante es mayor.

Por tanto, los valores que se dan como resultado son aquellos que han sido obtenidos con el índice de mayor  $L_{Aeq,5s}$ , tal y como se menciona en la OPCAT.

## 6.1 Incertidumbres

La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de sus posibles valores. Se determinará de conformidad con la tabla 1 de la UNE/ISO 1996-2 [10], donde la incertidumbre aplica al nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A.

Tabla 18 Ejemplo de un balance de incertidumbre para un valor medido según la UNE/ISO 1996-2

Magnitud	Estimación dB	Incertidumbre típica, $u_j$ dB	Magnitud del coeficiente de sensibilidad, $c_j$	Capítulos de apoyo
$L' + \delta_{slm}$	$L'$	$u(L')$ 0,5 <sup>a</sup>	$\frac{1}{1 - 10^{-0,1(L' - L_{res})}}$	Anexo F
$\delta_{sou}$	0	$u_{sou}$	1	Apartados 7.2 a 7.5 anexo D
$\delta_{met}$	0	$u_{met}$	1	Capítulo 8, anexo A
$\delta_{loc}$	0,0 – 6,0	$u_{loc}$	1	Anexo B
$L_{res} + \delta_{res}$	$L_{res}$	$u_{res}$	$\frac{-10^{-0,1(L' - L_{res})}}{1 - 10^{-0,1(L' - L_{res})}}$	Anexo F

<sup>a</sup> 0,5 dB hace referencia a un sonómetro de clase 1. Un sonómetro de clase 2 tendría la incertidumbre típica 1,5 dB.

Debido a la complejidad del cálculo de la incertidumbre para las penalizaciones, se aplicarán los resultados obtenidos de la incertidumbre del  $L_{Aeq}$  al resultado final  $L_{K_{eq}}$ .

En este proyecto, la incertidumbre del nivel de presión sonora total dependerá de la instrumentación empleada ( $u_{slm}$ ), las condiciones de operación ( $u_{sou}$ ), las condiciones meteorológicas ( $u_{met}$ ) y la localización del micrófono ( $u_{loc}$ ).

- a.  $u_{slm}$ : incluye cualquier incertidumbre de la cadena de medición, en este caso, el sonómetro.

Para los sonómetros de clase 1, este valor corresponderá a 0,5 dB y para los de clase 2 a 1,5 dB.

En la tabla 19 se resume la incertidumbre por instrumentación según la localización:

Tabla 19 Resumen incertidumbre por instrumentación

Localización	Tipo sonómetro	$u_{slm}$
1	1	0,5 dB
2	1	0,5 dB
3	1	0,5 dB

- b.  $u_{met}$ : magnitud de entrada que incluye cualquier incertidumbre debida a las condiciones meteorológicas que se desvían de las condiciones meteorológicas admitidas, en dB.

Para mediciones breves realizadas en condiciones de propagación favorables o muy favorables (ventanas meteorológicas M3 o M4), se aplicará:

- Para distancias  $D \leq 400$ m:  $u_{met, fav} = 2$  dB.
- Para distancias  $D > 400$ m:  $u_{met, fav} = \left(1 + \frac{D}{400}\right) dB$

En este caso, la localización 1 se sitúa a 240 metros del escenario 1 y la localización 2 a 70 metros del escenario 2, por lo tanto, su incertidumbre meteorológica será de 2 dB para cada una.

La localización 3 se sitúa a 1360 metros aproximadamente del escenario 1, por tanto empleando la fórmula para distancias mayores de 400 metros,  $u_{met,fav}$  resulta de 4,4 dB.

En la tabla 20 se resume la incertidumbre meteorológica según la localización:

**Tabla 20 Resumen incertidumbre meteorológica**

Localización	Distancia a escenario	$u_{met,fav}$
1	240 (escenario 1)	2 dB
2	70 (escenario 2)	2 dB
3	1360 (escenario 1)	4,4 dB

- c.  $u_{loc}$ : magnitud de entrada que incluye cualquier incertidumbre debida a la selección de la ubicación del receptor, en dB.

Según la tabla B.1 del Anexo B de la UNE/ISO 1996-2, para la posición de un receptor de referencia en campo libre, la incertidumbre típica  $u_{loc}$  es de 0 dB. La tabla hace referencia a ruido de tráfico, pero se toma de referencia para este proyecto.

En la tabla 21 se resume la incertidumbre por localización:

**Tabla 21 Resumen incertidumbre por localización**

Localización	$\delta_{loc}$
1	0 dB
2	0 dB
3	0 dB

- d.  $u_{sou}$ : magnitud de entrada que incluye cualquier incertidumbre debida a las desviaciones de las condiciones de funcionamiento de la fuente, en dB.

Se emplea la fórmula 7:

$$u_{sou} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(L_{mi} - \overline{L_m})^2}{n - 1}} \text{ dB} \quad (7)$$

Donde:

- $L_{mi}$ : valor medio que representa un ciclo de funcionamiento típico (dB)
- $L_m$ : media aritmética de  $L_{mi}$  (dB)

- n: número total de mediciones independientes

En la tabla 22 se resume la incertidumbre por condiciones de operación según la localización:

**Tabla 22 Resumen incertidumbre de condiciones de operación**

u <sub>sou</sub> (dB)	Sonómetro/periodo								
	1, día	1,tarde	1,noche	2,día	2,tarde	2,noche	3,día	3,tarde	3,noche
	0,4	2,0	2,3	2,0	0,7	1,5	0,2	0,3	1,8

A continuación, se muestran las incertidumbres aplicadas a cada sonómetro en las tablas 23, 24 y 25:

**Tabla 23 Resumen incertidumbre sonómetro 1** ¡Error! Vínculo no válido.

**Tabla 24 Resumen incertidumbre sonómetro 2**

Incertidumbre sonómetro 2	Día	Tarde	Noche
Instrumentación, u <sub>slm</sub>	0,5	0,5	0,5
Condiciones operación, u <sub>sou</sub>	2,0	0,7	1,5
Condiciones meteorológicas, u <sub>met</sub>	2	2	2
Localización, u <sub>loc</sub>	0	0	0

**Tabla 25 Resumen incertidumbre sonómetro 3**

Incertidumbre sonómetro 3	Día	Tarde	Noche
Instrumentación, u <sub>slm</sub>	0,5	0,5	0,5
Condiciones operación, u <sub>sou</sub>	0,2	0,3	1,8
Condiciones meteorológicas, u <sub>met</sub>	4,4	4,4	4,4
Localización, u <sub>loc</sub>	0	0	0

### 6.1.1 Incertidumbre típica ruido total

La desviación típica combinada se calcula mediante la fórmula 8:

$$u_{L'} = \sqrt{u_{slm}^2 + u_{met}^2 + u_{sou}^2 + u_{loc}^2} \text{ dB} \quad (8)$$

La desviación expandida se calcula multiplicando por 2 la desviación típica:

$$U_{L'} = u_{L'} * 2 \quad (9)$$

Finalmente, la incertidumbre expandida de cada sonómetro:

**Tabla 26 Resumen incertidumbres final**

Incertidumbre u <sub>L'</sub>	Día	Tarde	Noche
Sonómetro 1	2,1	2,9	3,1

## Resultados

Sonómetro 2	2,9	2,2	2,6
Sonómetro 3	4,4	4,4	4,8

### 6.1.2 Incertidumbre típica ruido de fondo

Para el ruido de fondo solo es necesario calcular la incertidumbre debida a las condiciones de operación, como se puede observar en la tabla 27:

Tabla 27 Cálculo de la incertidumbre del ruido de fondo

Incertidumbre $u_{\text{Sou, res}}$	Día	Tarde	Noche
Sonómetro 1	0,5	0,3	0,0
Sonómetro 2	2,4	3,0	0,8
Sonómetro 3	0,1	0,2	0,6

### 6.1.3 Coeficientes de sensibilidad

A continuación, en la tabla 28 se calculan los coeficientes de sensibilidad para el ruido total y residual, siguiendo las fórmulas de la tabla 18.

Tabla 28 Coeficientes de sensibilidad para el ruido total y residual

	Periodo	$C_L'$	$C_{res}$
Sonómetro 1	Día	1,01153	-0,01153
	Tarde	1,02840	-0,02840
	Noche	1,00292	-0,00292
Sonómetro 2	Día	1,01943	-0,01943
	Tarde	1,01007	-0,01007
	Noche	1,00318	-0,00318
Sonómetro 3	Día	1,71536	-0,71536
	Tarde	2,21434	-1,21434
	Noche	1,96428	-0,96428

#### 6.1.4 Incertidumbre final

En la tabla 29 se calcula la incertidumbre final a partir de las fórmulas 10 y 11:

$$u_L = \sqrt{(u_{L'} * c_{L'})^2 + (u_{res} * c_{res})^2} \quad 10$$

$$L_{Aeq} = L \pm U_L \quad 11$$

Tabla 29 Resultados finales del nivel del evento con su incertidumbre

	Periodo	$L_{Keq} \pm U_L$
Sonómetro 1	Día	77 ± 4
	Tarde	78 ± 6
	Noche	87 ± 6
Sonómetro 2	Día	81 ± 6
	Tarde	85 ± 4
	Noche	84 ± 5
Sonómetro 3	Día	58 ± 15
	Tarde	61 ± 20
	Noche	60 ± 19



## 7. Simulaciones

### 7.1 Creación del proyecto en QGis

Mediante este software, se recrea el entorno virtual del evento, tanto de los escenarios como de los emisores, por capas geolocalizadas.

Primero, se crea un proyecto vacío en el cual se añade una capa con el mapa de Madrid, ya incluido en el software, con las coordenadas exactas del lugar. Una vez localizado el evento, se crea una capa para los emisores. Esta capa será de puntos, ya que los emisores son fuentes puntuales, y su formato será tipo *shape*. Para ello, será necesario añadir una serie de atributos que caractericen a los emisores como son:

- Identificador (id): número que distingue un emisor del resto. En este caso, los situados en el escenario 1 serán 11 y 12, los situados en el escenario 2 serán 21 y 22.
- Altura: distancia a la que se sitúa el emisor respecto del suelo. Esta distancia será de 4 metros para todos los emisores.
- Apunta: dirección en grados a la que apunta el emisor, tomando como referencia la posición 0 del propio programa.

A continuación, se muestra una imagen con los atributos mencionados:

	id	altura	apunta
1	11	4	120
2	12	4	120
3	21	4	-60
4	22	4	-60

Ilustración 11 Tabla de atributos de los emisores en QGis

Una vez completada la tabla de atributos, se posicionan los emisores en el lugar del mapa. La vista de los emisores en la localización del evento se muestra en la ilustración 12 representados como puntos amarillos:



**Ilustración 12 Vista de QGis de los emisores geocalizados**

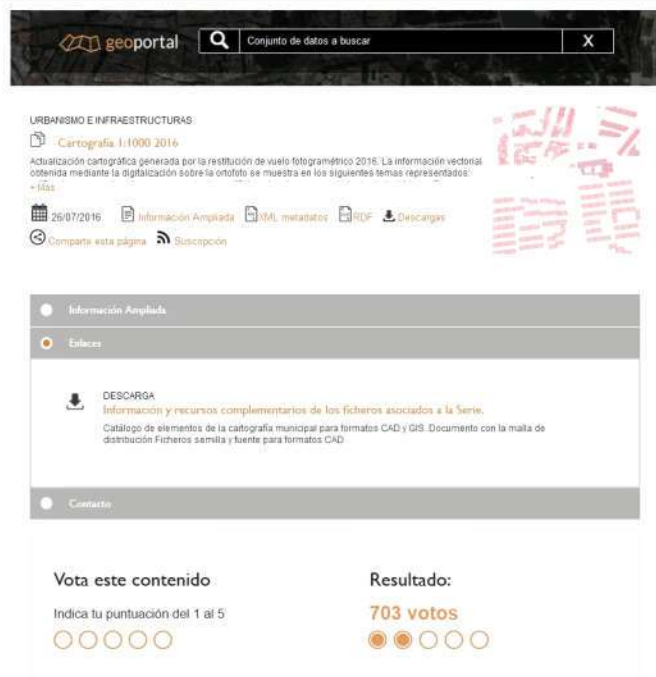
Una vez geocalizados los emisores, se crea otra capa para geocalizar las 3 posiciones de medida con el sonómetro, que serán los puntos azules representados en la ilustración 13:



**Ilustración 13 Vista de QGis con los emisores y las localizaciones del sonómetro**

Para montar el modelo de terreno, son necesarios archivos de edificios y cotas. Estos archivos se encuentran en el geoportal del Ayuntamiento de Madrid [11].

Se han obtenido los archivos de edificios del 2016, siendo estos los más recientes. En la imagen 14 se puede ver una miniatura del geoportal con el archivo cartográfico seleccionado:



**Ilustración 14** Página de descarga de edificios 2016 del geoportal del Ayuntamiento de Madrid [11]

Para descargar los archivos, es necesario seleccionar el distrito de interés, en este caso Moncloa-Aravaca, y la carpeta de Altimetría, que será la que aporte la altura de los edificios.

En el proyecto de QGis, se añade la capa de *edificios\_P.shp*. Esta capa, al llevar el índice P, indica que es una capa de polígono, y no será una línea o puntos. Además, se añade la capa de altimetría "*cota\_edificio\_C.shp*" que dará la altura de los edificios.

Mediante la herramienta unir atributos por geolocalización, se añadirá el atributo de altura de la capa "*cota\_edificio\_C.shp*" como atributo de la capa "*edificios\_P.shp*".

La ilustración 15 muestra la vista de la herramienta "*Unir atributos*":

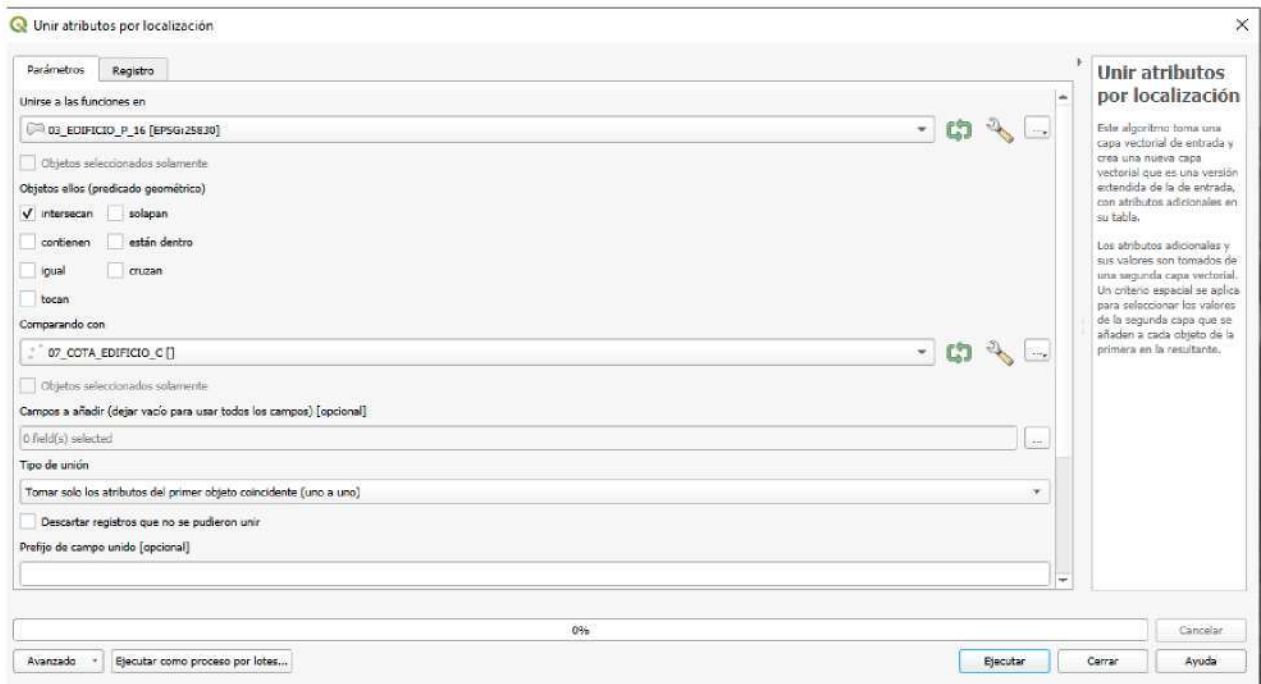


Ilustración 15 Herramienta Unir atributos por localización

Finalmente, se obtiene una capa de edificios geolocalizada y con altura, con los atributos correspondientes, mostrada en la ilustración 16:



Ilustración 16 Mapa del evento con la capa de edificios

	OBJECTID	NIVEL	ID_CM	Shape_STAr	Shape_STLe	Z	ELEVATION	Altura
1	8990	03028812	381213899,000...	5674,81152343...	491,276238417...	623,610000000...	623,610000000...	624
2	8991	03028812	38129653,0000...	5150,95666503...	647,190761928...	659,970000000...	659,970000000...	660
3	8992	03028812	38129681,0000...	4794,29052734...	639,610012261...	656,050000000...	656,050000000...	656
4	8993	03028812	381210934,000...	4490,72570800...	706,199027518...	620,340000000...	620,340000000...	620
5	8994	03028812	381210837,000...	3980,14587402...	239,997686041...	626,460000000...	626,460000000...	626
6	8995	03028812	381213893,000...	2429,68298339...	418,141583355...	635,590000000...	635,590000000...	636
7	8996	03028812	381213877,000...	2250,57336425...	374,199829318...	648,350000000...	648,350000000...	648
8	8997	03028812	381213878,000...	2424,97460937...	436,249232847...	650,030000000...	650,030000000...	650
9	8998	03028812	381212146,000...	3376,24450683...	608,450595390...	645,960000000...	645,960000000...	646

Ilustración 17 Tabla de atributos de la capa de edificios

La capa de cotas del terreno se obtiene de la misma manera del geoportal. Para esta capa hay una versión más actualizada de 2019, que es la que se ha empleado.

En la imagen 18 aparece una vista del geoportal con el archivo de terreno seleccionado:

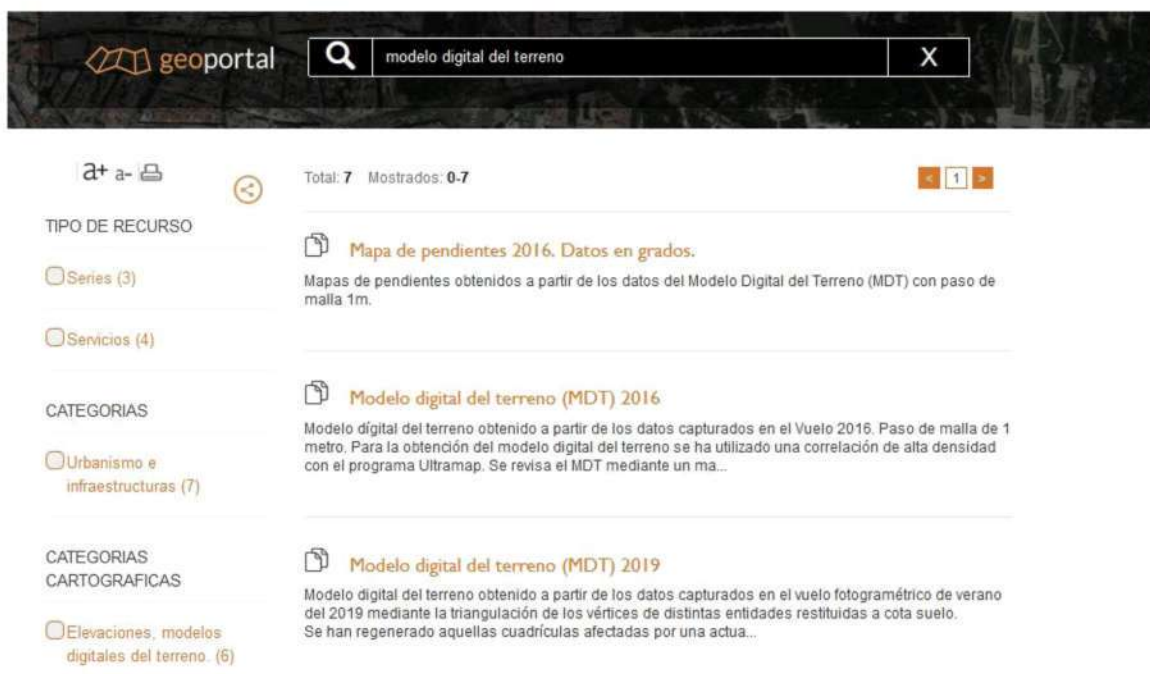


Ilustración 18 Capas de modelo del terreno del geoportal [11]

Dentro del enlace, aparece un visor web de Madrid donde se selecciona la zona de interés, en este caso, la zona del evento en el distrito Moncloa-Aravaca.

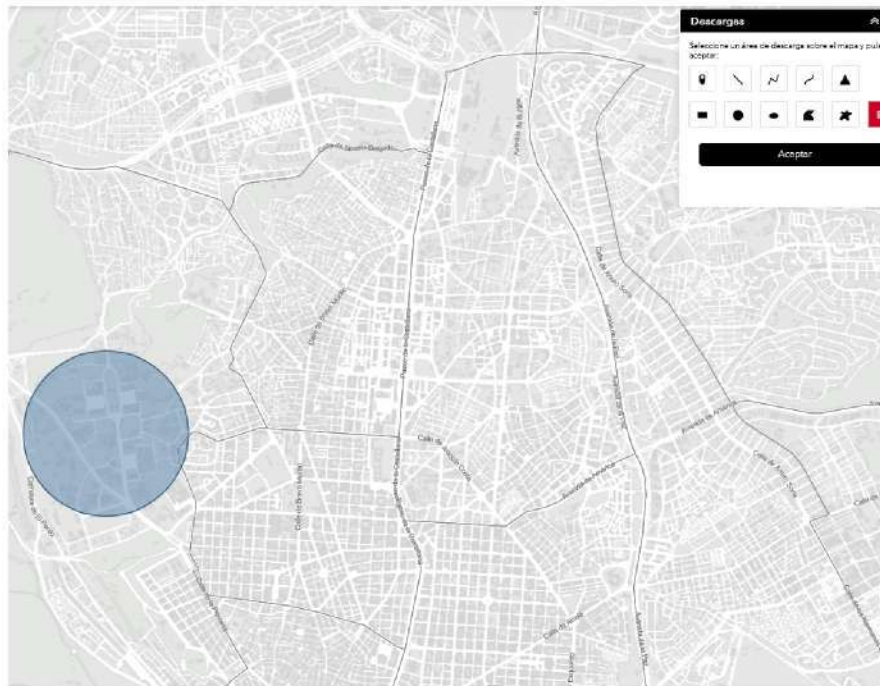


Ilustración 19 Visor web del geoportal [11]

Tras seleccionar la zona, se descargan los archivos y se importan en el proyecto de QGIS uno a uno.

A través de la herramienta “*curvas de nivel*” que se encuentra dentro del software, se transforman estos archivos al formato deseado, dándoles una cota de separación entre ellas de 2 metros, y se crea un nuevo archivo *.shp*. A continuación, se muestra en la ilustración 20 una vista de la herramienta:



Ilustración 20 Herramienta curvas de nivel

Tanto la capa de edificios como las curvas de nivel serán las capas mediante las cuales se creará el modelo del terreno en Lima.

## 7.2 Simulación de niveles en Lima

Primero se crea un proyecto vacío y se importan las capas creadas en QGis de edificios y curvas de nivel para definir el terreno de cálculo. Para ello es necesario transformar el formato de los archivos de QGis, *.shp*, a formato LimA con la herramienta Convert Data, como se puede ver a en la ilustración 21:

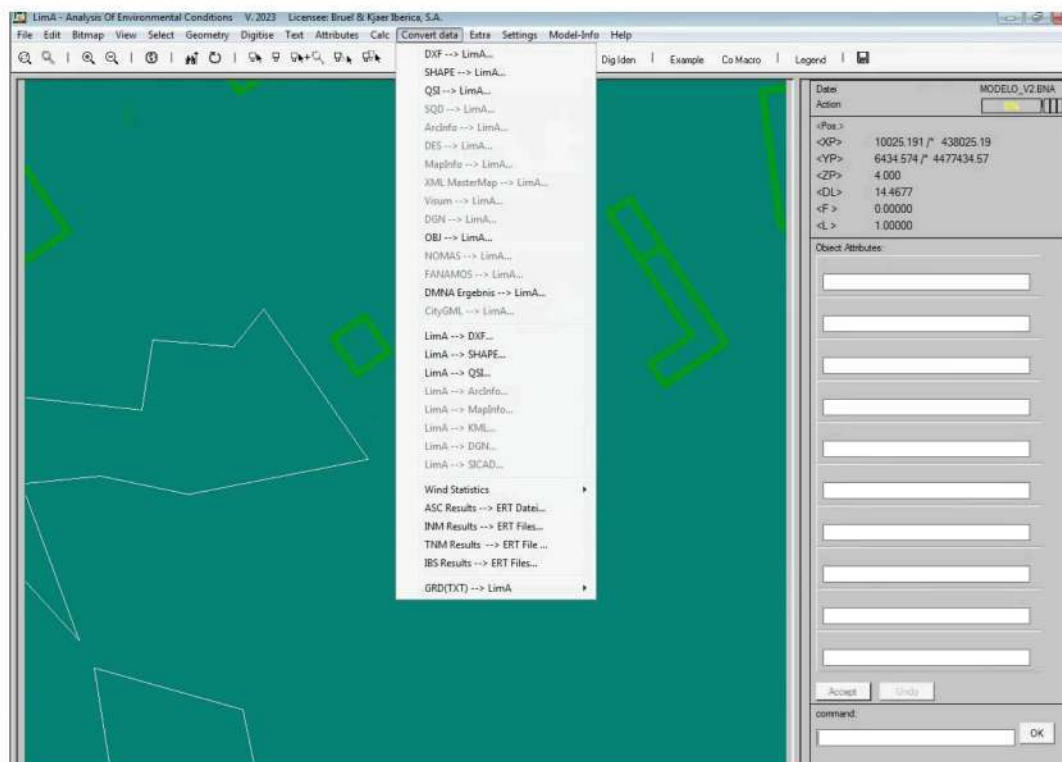


Ilustración 21 Vista del programa con las opciones de Convert Data

Dentro de la ventana de conversión, hay varios parámetros importantes:

- *Object Type*: parámetro donde LimA define el tipo de objeto que se va a importar mediante una nomenclatura propia del software.
- *General Variation*: en este parámetro se determina si el objeto será una representación en 2D, 3D, un línea o polígono. La siguiente imagen muestra las distintas posibilidades:

```

Geotyp Polygon : 2-d area
Geotyp Polyline : 2-d poly-line
Geotyp Point : 2-d point
Geotyp PolygonZ : 3-d area
Geotyp PolylineZ: 3-d poly-line
Geotyp PointZ : 3-d point
Geotyp 3D : LimA geometry type exported as 3-d data
    
```

Ilustración 22 Tipología General Variation

Para el caso de los edificios, se determinan los siguientes parámetros:

- *Object Type*: se definirá un objeto de tipo HIN, es decir, obstáculo.
- *General Variation*: “*Geotyp PolygonZ*”, para que realice una representación en 3D de un polígono.

La ilustración 23 muestra la ventana de conversión de formato de *shape* to LimA para la capa de edificios con los atributos anteriormente mencionados:

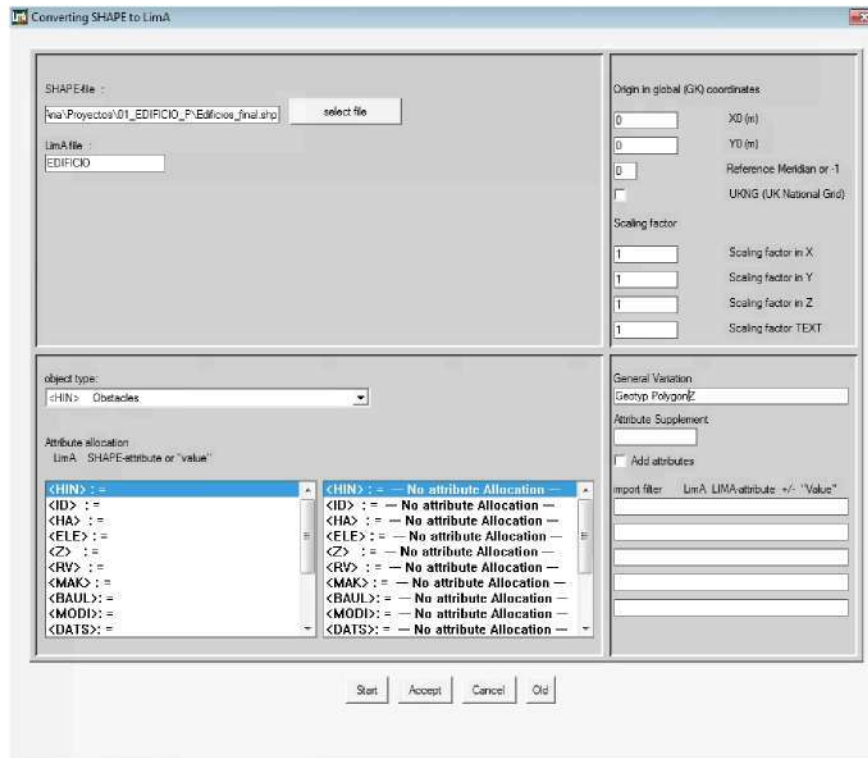


Ilustración 23 Vista de la ventana Convert from Shape to LimA para el archivo Edificios

Para la capa de curvas de nivel, se determinan los siguientes parámetros:

- *Object Type*: se definirá un objeto de tipo GEL o contorno.
- *General Variation*: “*Geotyp PolylineZ*” para que cree los objetos como líneas en 3D.

La ilustración 24 muestra la ventana de conversión de formato de *shape* to LimA para la capa de curvas de nivel con los atributos anteriormente mencionados:

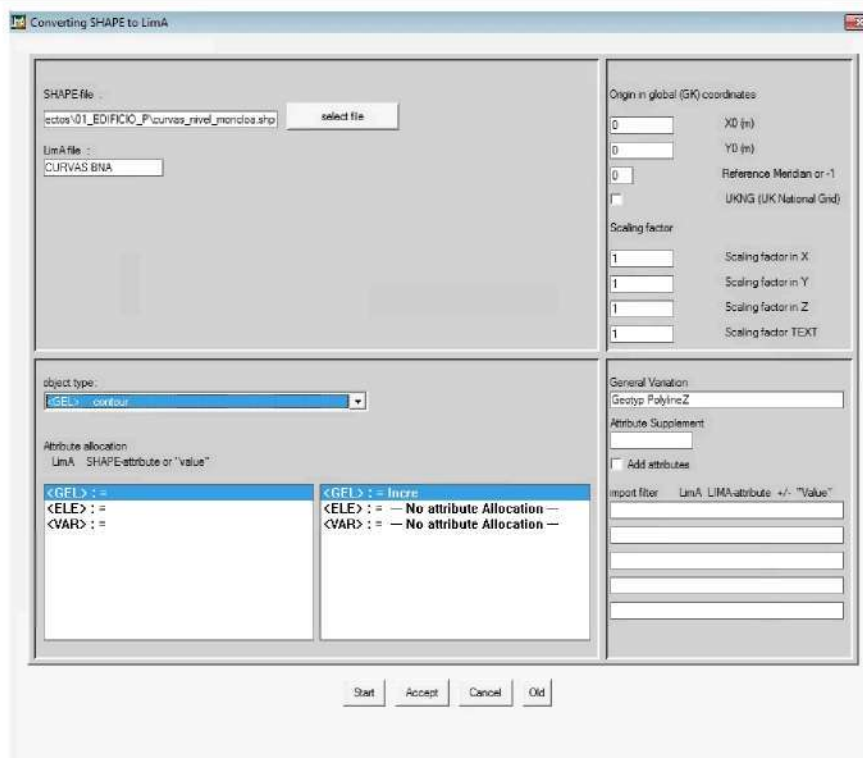


Ilustración 24 Vista de la ventana Convert from Shape to LimA para el archivo Curvas de nivel

Una vez importadas ambas capas, se realiza el mismo proceso con la capa de emisores.

Para la capa de emisores, se determinan los siguientes parámetros:

- *Object Type*: se definirá un objeto de tipo CIN o industria, es decir, un emisor de tipo industrial.
- *General Variation*: "Geotyp PointZ" para que cree los objetos como puntos en 3D.

En los atributos, se desplegarán una barra de opciones entre las que se encuentran los atributos de QGIS de cada capa. Para los emisores, se debe añadir:

- *Z: 4 R*. Este parámetro define la altura sobre la que se situarán los emisores. Se situarán a 4 metros de altura, siendo esta una altura generalizada para todos. La letra R se emplea para que esa altura se mida desde el suelo.
- *RWO*: atributo "apunta" previamente creado en QGIS que determinaba la dirección de emisión.

La ilustración 25 muestra la ventana de conversión de formato de *shape* to LimA para la capa de emisores con los atributos anteriormente mencionados:

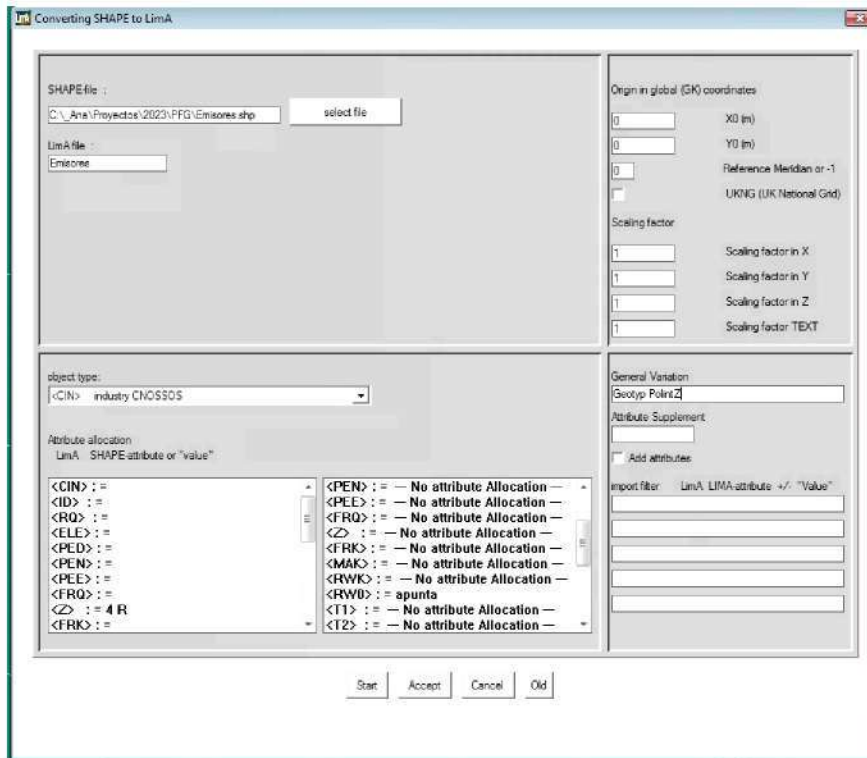


Ilustración 25 Vista de la ventana Convert from Shape to LimA para la capa de emisores

Al tener todas las capas con un formato compatible a LimA, se añaden al proyecto y se configuran sus atributos.

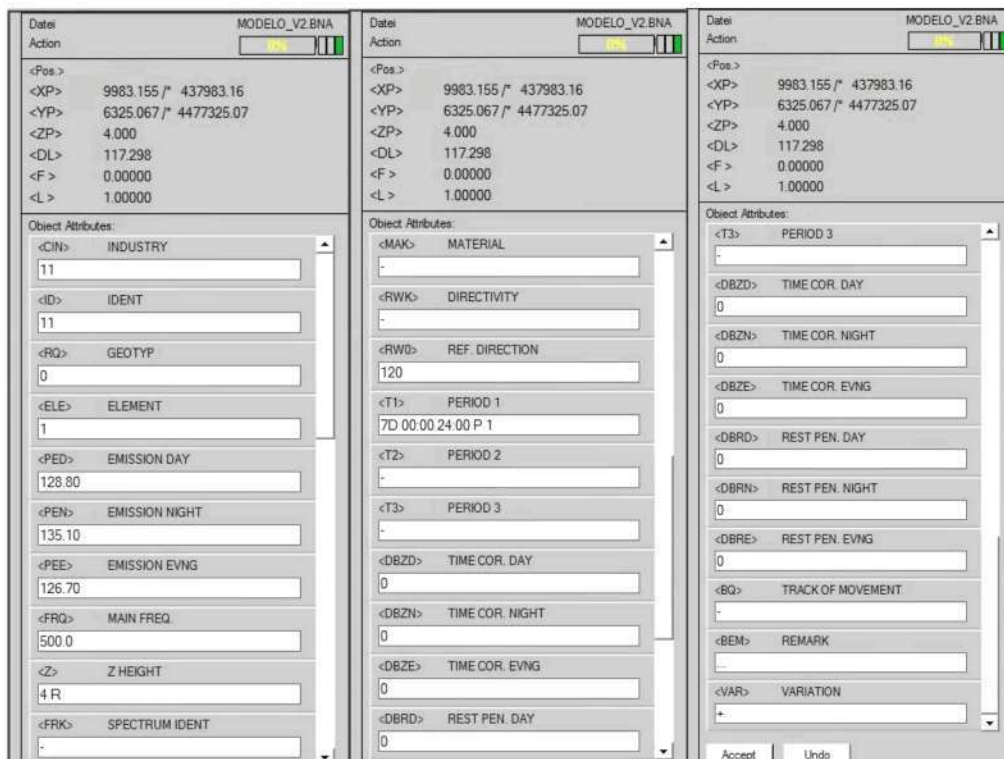


Ilustración 26 Atributos de los objetos emisores

Algunos de los atributos importantes para los emisores son:

- *RQ (Geotyp)*: determina el tipo de emisor industrial, pudiendo ser un punto o emisor puntual, una línea de emisores, un área horizontal o vertical entre ellos, dependiendo de la situación a representar. Para este caso, este atributo debe estar a 0, correspondiendo a un emisor puntual.

En la siguiente imagen se pueden observar los distintos tipos de emisores posibles:

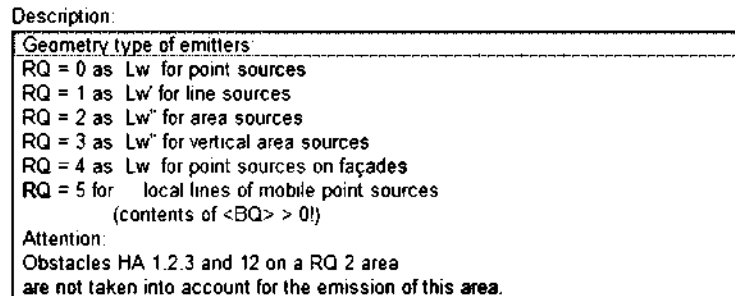


Ilustración 27 Tipos de emisores CIN

- *Emission Day (PED), emission evening (PEE) y emission night (PEN)*: en este apartado se calcula el nivel de potencia acústica a partir del nivel de presión acústica y la distancia de medición. Para ello, se debe escribir el nivel de presión sonora correspondiente seguida de una "d" y de la distancia de medida en metros y el software calcula la equivalencia. En este caso, el comando es 73.3 d 240, obteniendo un nivel de potencia de 118.8 dB. El nivel de presión acústica que se empleará será el obtenido promediando las 3 medidas de  $L_{Aeq,5s}$  obtenidas por cada periodo y posición.

Según la orientación de las posiciones de medición, se va a interpretar que en la posición 1 se captó únicamente el nivel directo del escenario 1, mientras que en la posición 2 se captó la suma de la emisión del escenario 1 como del 2. El nivel de presión acústica del escenario 1 se muestra en la tabla 30:

Tabla 30 Niveles  $L_{Aeq,5s}$  promediados para el escenario 1 a 240 metros (receptor 1)

Periodo	Día	Tarde	Noche
Nivel a 240 m	73,28 dB	70,95 dB	79,16 dB
Nivel a 1,5 m	117,37 dB	115,03 dB	123,24 dB

- *Z (Height)*: este parámetro determina la posición vertical del emisor. Se debe comprobar que este valor corresponde con el 4 R añadido al transformar el emisor a tipo LimA.
- *Directivity (RWK)*: este parámetro determina el tipo de directividad de la fuente. Para este evento se debe seleccionar una fuente directiva, siendo en LimA catalogada como *LoudSpeaker (Horn)*.

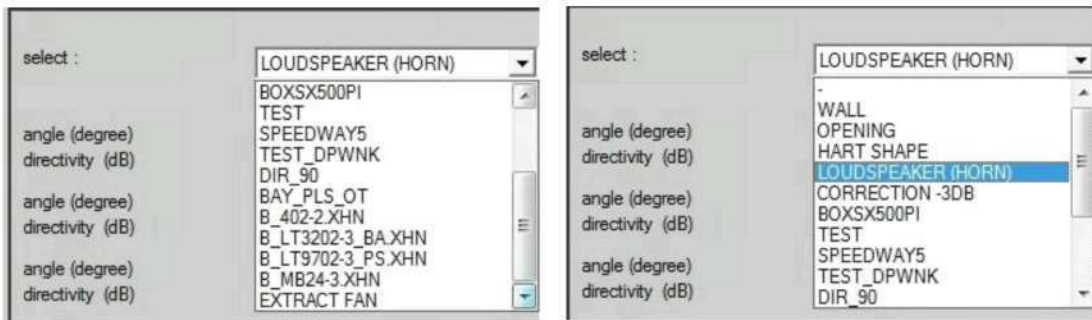


Ilustración 28 Tipos de directividad

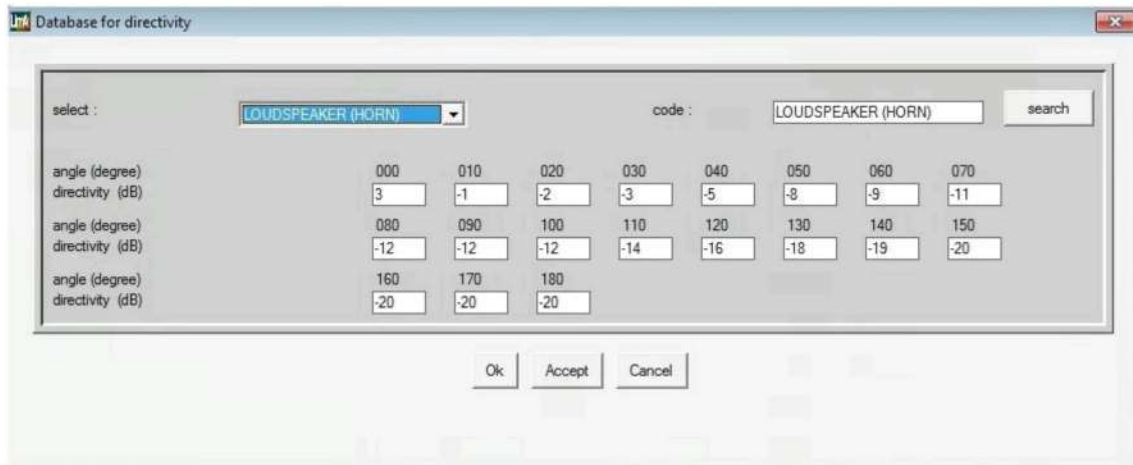


Ilustración 29 Características del Loudspeaker

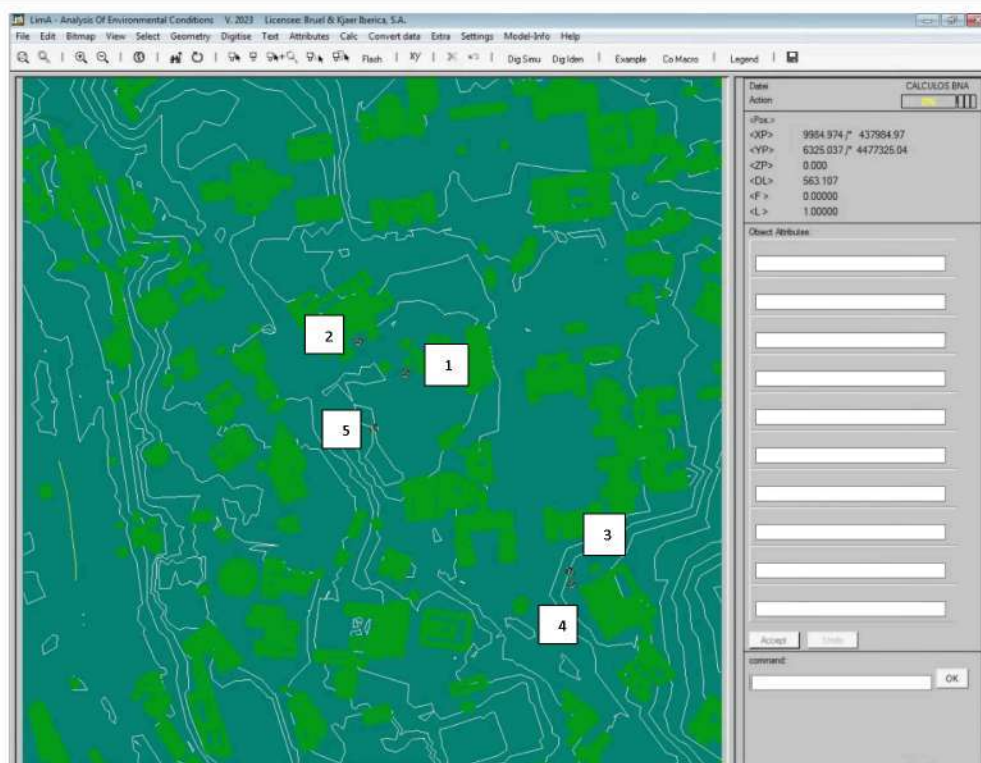
- *Ref Direction (RWO)*: este parámetro determina la dirección de emisión. Se debe comprobar que este valor corresponde con el valor “apunta” añadido previamente en QGis.
- *Value*: este parámetro determina si el objeto está activo o desactivado. Para tenerlo activo, debe contener el símbolo +.

Una vez añadidos los atributos para los emisores del escenario 1, se realizan los cálculos siguientes.

### 7.2.1 Cálculo del nivel de potencia con receptores

Como se ha mencionado anteriormente, el nivel captado por el sonómetro en la localización 2, consta de la suma del nivel del escenario 1 y del 2.

Para obtener únicamente el nivel del escenario 2 en la localización 2, se realiza un cálculo a partir de receptores. Para ello se crean distintos receptores en las localizaciones de medición con el sonómetro, distribuidos según la ilustración 30:



**Ilustración 30 Colocación de receptores en distintos puntos del festival**

LimA cuenta con 3 maneras de realizar un cálculo de nivel: cálculo de carretera, de trenes y de niveles industriales, siendo este último el utilizado para el evento. Dentro de esta opción, se encuentran numerosos parámetros como se puede ver en la ilustración 31:

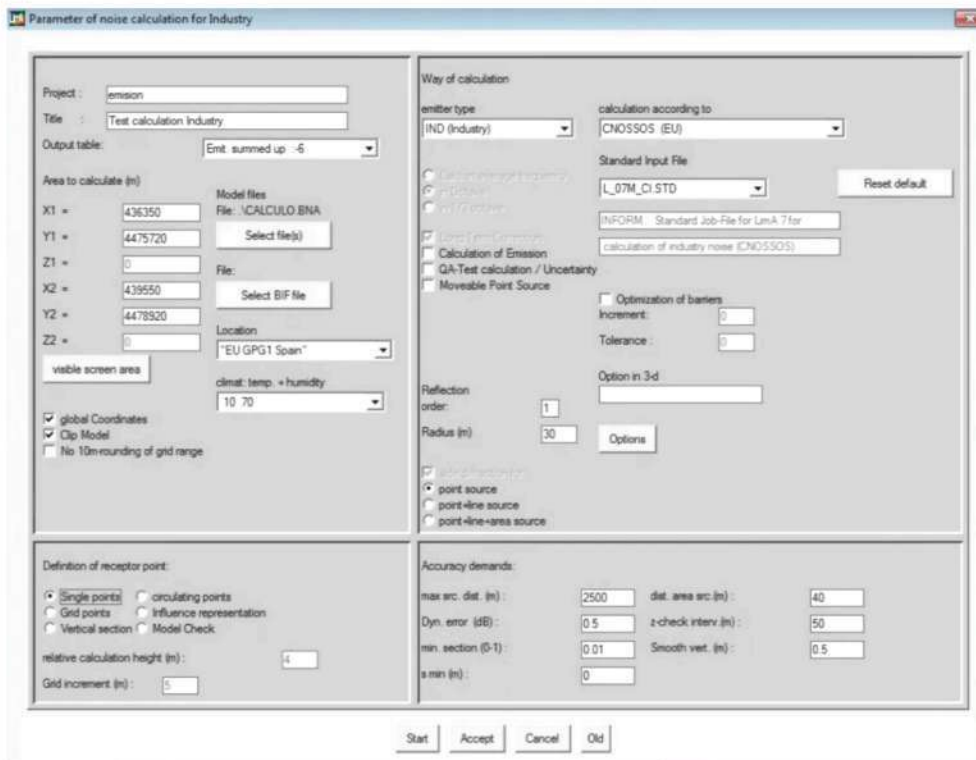


Ilustración 31 Cálculo industrial para receptores

El parámetro para modificar en este cálculo es:

- *Definition of receptor point*: en este apartado se determina el tipo de cálculo que se quiere realizar, tanto con receptores, mallas horizontales, mallas verticales etc. En este caso, se debe marcar “single points”, es decir, cálculo con receptores puntuales.

Una vez elegido el fichero y las coordenadas del evento, se procede al cálculo.

Los niveles obtenidos por los receptores con la emisión del escenario 1 se muestran en la ilustración 32:

analisis_esc2ECI		428	4471	445	4493				
438.06	4477.49	438.06	4477.49	ER	438.06089	4477.48966			
analisis		IND	J	N	1	1	2405072235	2023_230331	2405072235
Y	X	IPED	IPEN	Z	IPEE	LDEN	L24H		
4477.4897	438.0609	73.79	79.18	630.54	71.24	84.70	76.21	I001	
4477.5195	437.9619	67.96	73.88	631.05	65.67	79.37	70.75	I002	
4476.9692	438.7757	54.07	62.57	678.86	53.26	67.97	58.84	I003	
4476.9865	438.7872	54.27	62.60	678.70	53.35	68.00	58.90	I004	
4477.3276	437.9881	108.69	114.59	628.84	106.39	120.08	111.47	I005	

Ilustración 32 Niveles en dB obtenidos en los receptores por la emisión del escenario 1

Los niveles obtenidos en el receptor 2 según indica la ilustración anterior se muestran en la tabla 31:

Tabla 31 Niveles obtenidos en el receptor 2 por la emisión del escenario 1

Posición	Día	Tarde	Noche
Receptor 2	67,96 dB	65,67 dB	73,88 dB

Para obtener el nivel del escenario 2 en el receptor 2, teóricamente se realiza una resta logarítmica entre los niveles obtenidos por el sonómetro y los niveles obtenidos en el receptor 2 a través del software. En la tabla 32 se pueden ver los resultados del receptor 2:

**Tabla 32 Resultados de los niveles generados por el escenario 2 en la posición 2 (70 metros de distancia)**

Periodo	Posición 2 (nivel promediado)	Receptor 2 (nivel escenario 1)	Resta (nivel escenario 2 en receptor 2) a 70m	Resta (nivel escenario 2 en escenario) a 1,5 m
Día	76,05 dB	67,96 dB	75,26 dB	108,64 dB
Tarde	78,69 dB	65,67 dB	78,37 dB	111,75 dB
Noche	80,12 dB	73,88 dB	78,94 dB	112,32 dB

Se puede comprobar, que los niveles que llegan al receptor 2 procedentes del escenario 1 son más de 6 dB inferiores a los obtenidos con el sonómetro en la posición 2. Por lo tanto, se concluye que el nivel que predomina en esta posición 2 es directamente el del escenario 2, sin influencia notable del escenario 1.

Se toman como valores los obtenidos por la resta y se insertan en los atributos de los emisores del escenario 2 de la misma manera que con el escenario 1.

### 7.2.2 Cálculo del nivel de potencia con mallas

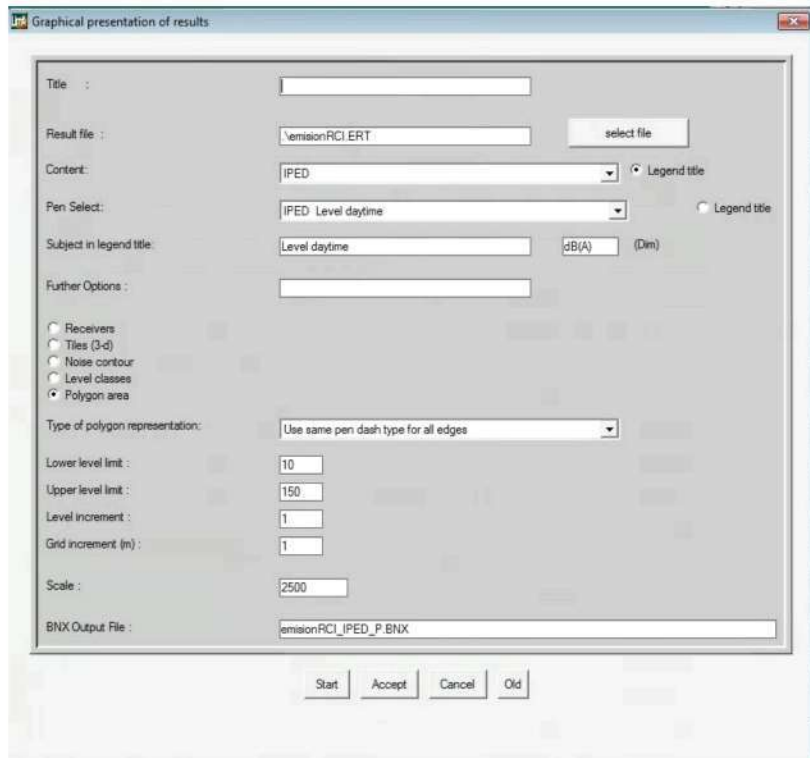
Para este cálculo se procede de igual manera que la anterior, mediante un cálculo industrial. En este caso, en lugar de "Single Points" se seleccionará "Grid Points" en *Definition of receptor point*, para realizar un cálculo de mallas horizontal. El valor de la malla (Grid) será de 5x5 metros para obtener una buena resolución y que el cálculo no tarde demasiado. Cuanto menor sea el valor de la malla, más precisión tendrá el cálculo y más tardará.

Una vez ajustados todos los parámetros se lanza el cálculo dando como resultado archivos con distintos formatos.

### 7.2.3 Cálculo de gráficos

El siguiente cálculo genera un gráfico del nivel obtenido para el periodo diurno, vespertino y nocturno.

En la ilustración 33 se muestra la ventana de cálculo de gráficos para el periodo diurno:



**Ilustración 33** Ventana del cálculo de gráficos

Finalmente, se obtiene un archivo con formato *.bnx* que se debe convertir a formato *.shp* para poder importarlo en QGis y visualizar el mapa de ruido obtenido, al igual que se realizó al importar los archivos en LimA.

La ilustración 34 se muestra la ventana de conversión de formato:

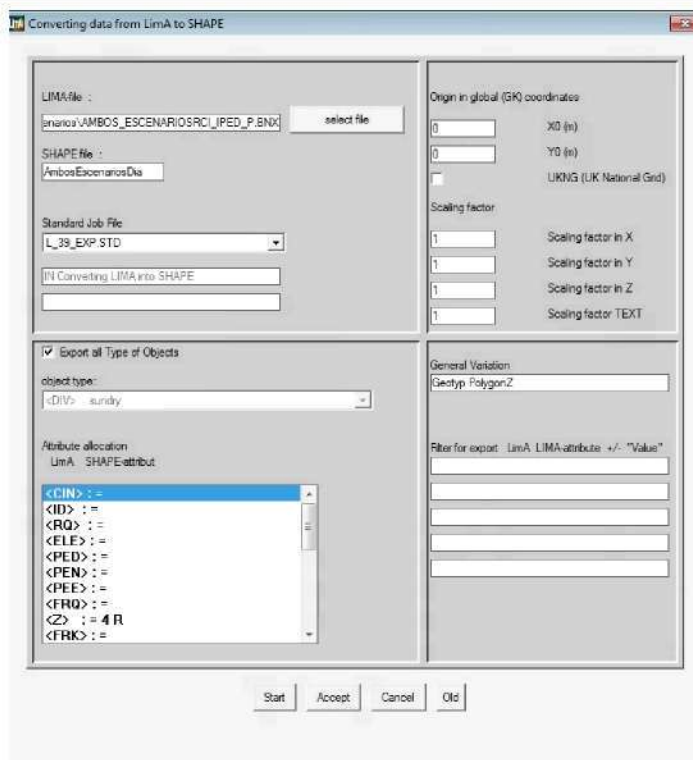


Ilustración 34 Ventana de conversión de formatos Lima to Shape

### 7.3 Montaje del mapa de ruido en QGis

Se importan los archivos *.shp* obtenidos de LimA y se le asigna una tipología de color, que en este caso será la idéntica a la empleada para los mapas de ruido de Madrid. Esta tipología se dispone escalada en colores en función del rango de decibelios en el que se encuentre la zona, siendo la menos ruidosa de un color verde clarito, y la más ruidosa de color rosa para el periodo diurno y vespertino y roja para el periodo nocturno.

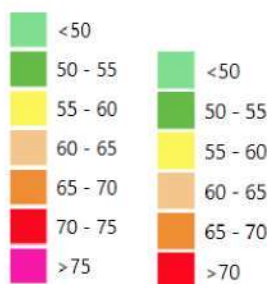


Ilustración 35 Tipología empleada los mapas de ruido para los periodos diurno/vespertino y nocturno

A continuación, se muestran en las ilustraciones 36, 37 y 38, los resultados de los mapas de ruido obtenidos para cada periodo y en las tablas 33, 34 y 35 los niveles de emisión de cada escenario y los niveles en los receptores para cada posición:

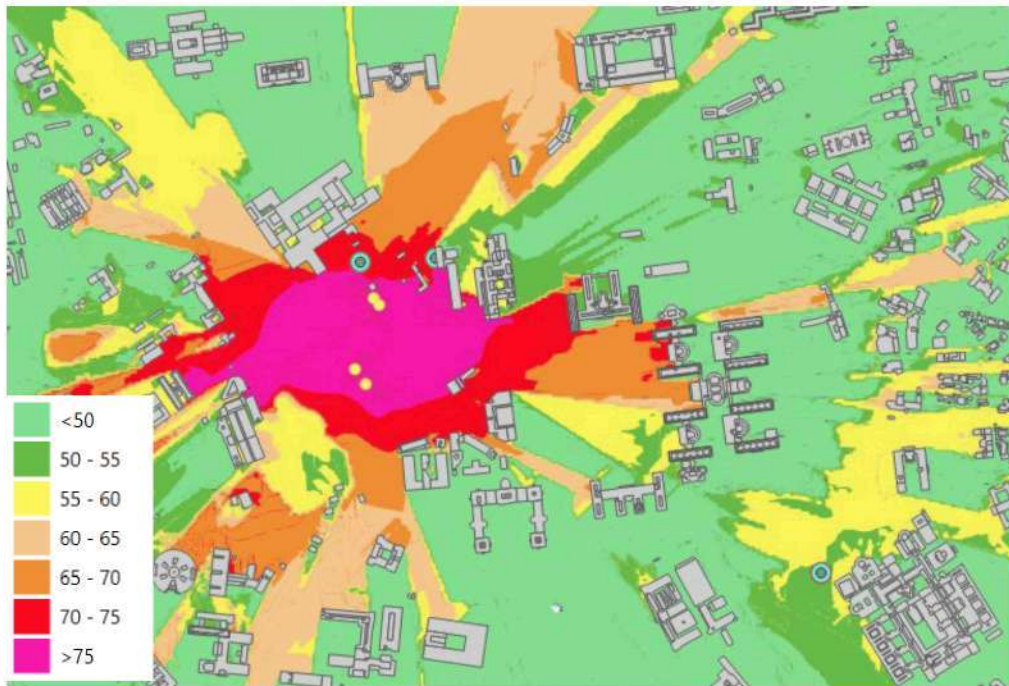


Ilustración 36 Resultado de la simulación para el periodo diurno

Tabla 33 Resultados simulación periodo diurno

Emisión escenario 1	Emisión escenario 2	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3
73,28 dB a 240 m	76,33 dB a 70 m	73 dB	76 dB	56 dB

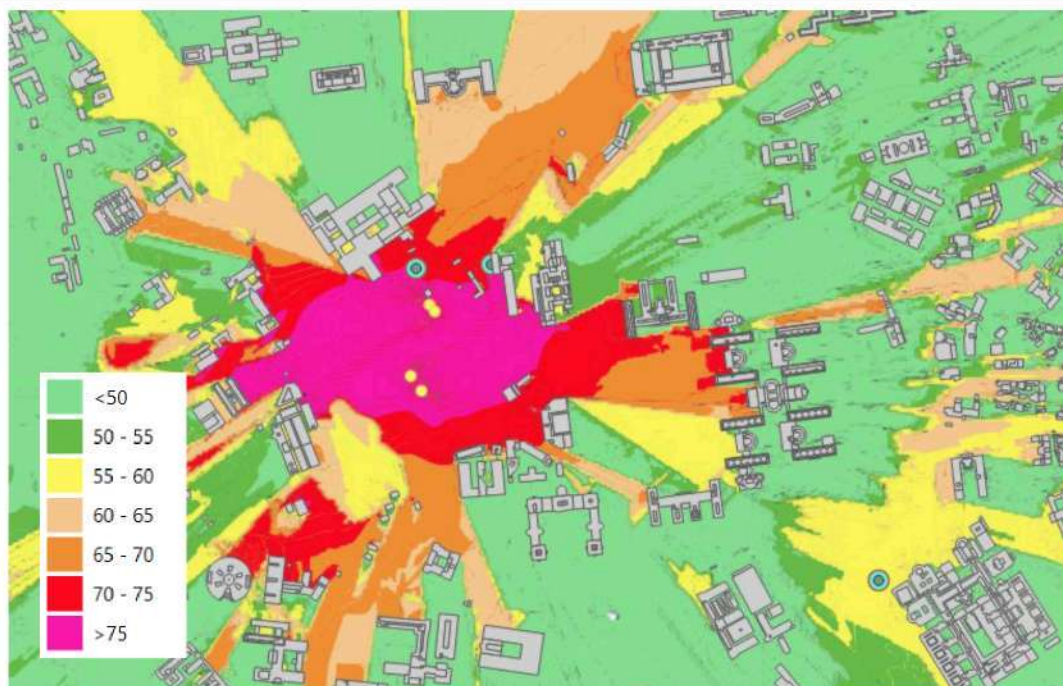


Ilustración 37 Resultado de la simulación para el periodo vespertino

Tabla 34 Resultados simulación periodo vespertino

Emisión escenario 1	Emisión escenario 2	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3
70,95 dB a 240 m	78,73 dB a 70 m	71 dB	75 dB	57 dB

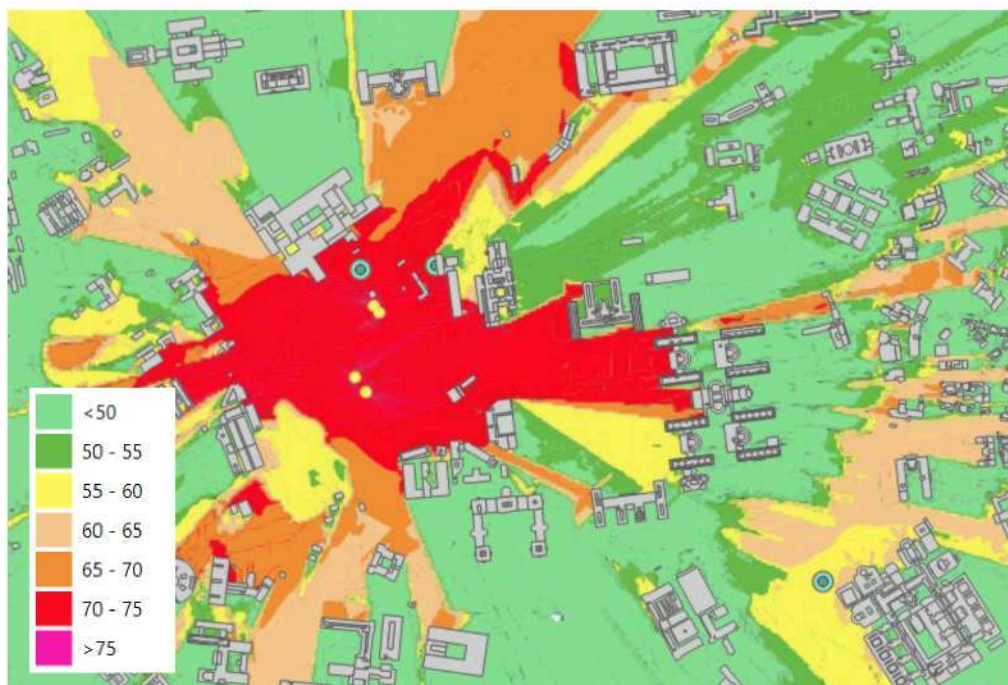


Ilustración 38 Resultado de la simulación para el periodo nocturno

Tabla 35 Resultados simulación periodo nocturno

Emisión escenario 1	Emisión escenario 2	Receptor 1	Receptor 2	Receptor 3
79,19 dB a 240 m	80,28 dB a 70 m	78 dB	78 dB	59 dB



## 8. Soluciones propuestas

El edificio más crítico corresponde al Hospital Clínico San Carlos, perteneciendo a un Área Acústica tipo e) Sectores del territorio con suelo de uso sanitario, docente y cultural. Los niveles acústicos obtenidos en la fachada del Hospital superan los límites de inmisión establecidos en el artículo 15 de la OPCAT.

Tabla 36 Comparativa de niveles del Artículo 15 de la OPCAT con los obtenidos en la posición 3 (Hospital)

Lugar/ Periodo	Niveles OPCAT			Niveles obtenidos		
	Día	Tarde	Noche	Día	Tarde	Noche
Hospital Clínico San Carlos	55	55	45	56	56	59

Se permite la superación de estos valores en 5 dB.

Para reducir los niveles en fachada, se proponen 3 tipos de soluciones:

1. Reducción de niveles de emisión
2. Cambio de la disposición de los escenarios
3. Recubrimiento de tela acústica fonoabsorbente alrededor de los escenarios y sobre andamios.

Se valoró la opción de añadir pantallas acústicas, pero únicamente reducían un par de decibelios a cortas distancias y por tanto, aunque se elevase su altura, no llegaba a favorecer el recinto hospitalario por encontrarse a más de 1000 metros. Puesto que añadir pantallas de cristal de más de 10 metros de altura es una situación irreal tanto por la altura como por la dificultad de obra, se descartó esta solución.

### 8.1 Reducción de niveles de emisión

Al obtener niveles superiores a 120 dB a 1,5 metros de cada altavoz, y ser estos altamente perjudiciales al oído humano, además de incumplir la legislación para el periodo nocturno, se proponen los siguientes niveles de emisión para ambos escenarios mostrados en la tabla 37, que garantizan el cumplimiento de la legislación:

Tabla 37 Niveles en dB propuestos

Escenario	Periodo diurno	Periodo vespertino	Periodo nocturno
1	115 dB a 1,5 m	115 dB a 1,5 m	105 dB a 1,5 m
2	100 dB a 1,5 m	100 dB a 1,5 m	90 dB a 1,5 m



Ilustración 39 Resultados con los niveles propuestos para el periodo diurno



Ilustración 40 Resultados con los niveles propuestos para el periodo vespertino



**Ilustración 41 Resultados con los niveles propuestos para el periodo nocturno**

Los niveles obtenidos en el Hospital se muestran en la tabla 38:

**Tabla 38 Resultados obtenidos en el Hospital con los niveles propuestos**

Periodo	Diurno	Vespertino	Nocturno
Nivel Hospital	52 dB	54 dB	45 dB

Al obtener unos niveles iguales o inferiores a los permitidos por la legislación vigente, esta solución sería una solución eficaz.

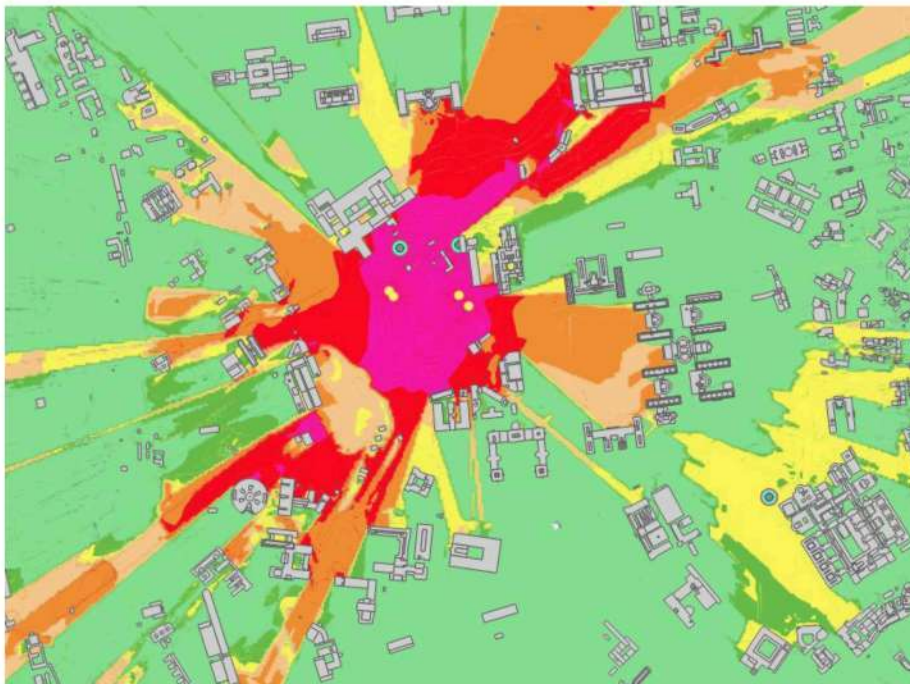
## 8.2 Cambio de la posición de escenarios

Se ha realizado un cambio en la orientación de ambos escenarios, colocándose el escenario 1 en el inicio del recinto emitiendo hacia la A 6 y el escenario 2 a 45 metros de su posición inicial, pero emitiendo en sentido contrario. Este cambio de orientación ocasiona una modificación de la dirección de propagación acústica y por tanto una reducción del nivel en el Hospital, aunque, por el contrario, aumenta el nivel en otras localizaciones.

Se ha realizado una simulación con los niveles iniciales del evento y un cambio en la disposición de los escenarios, siendo los resultados los que se muestran en las ilustraciones 42, 43 y 44:



**Ilustración 42 Resultados con el cambio de disposición de escenarios para el periodo diurno**



**Ilustración 43 Resultados con el cambio de disposición de escenarios para el periodo vespertino**



Ilustración 44 Resultados con el cambio de disposición de escenarios para el periodo nocturno

Con estas modificaciones, se obtienen los niveles en el punto de medición del Hospital, mostrados en la tabla 39:

Tabla 39 Niveles obtenidos en el Hospital con el cambio de disposición de escenarios

Periodo	Diurno	Vespertino	Nocturno
Nivel Hospital	54 dB	56 dB	55 dB

Estos niveles no cumplen para el periodo nocturno con los niveles permitidos por la OPCAT, por tanto, esta solución no sería eficaz sin modificar previamente los niveles de emisión.

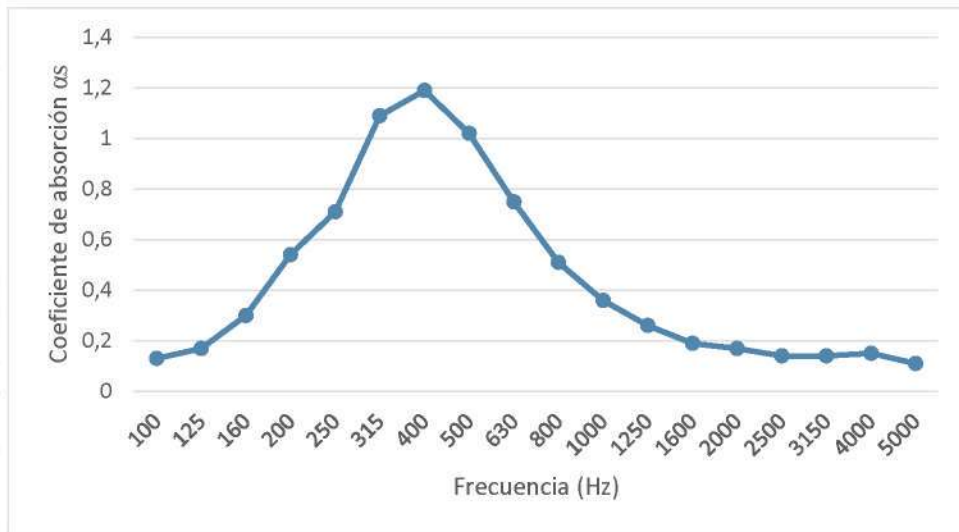
### 8.3 Tela acústica

El telón acústico seleccionado corresponde con la Barrera Acústica H9 de EchoBarrier[12] Es un panel acústico empleado para reducir el ruido diseñado para conformar pantallas acústicas, cerramientos acústicos o cabinas acústicas. Está fabricado a base de láminas de PVC de alta calidad con componentes fonoabsorbentes, preparados para ser usados a la intemperie, con un aspecto flexible y similar al de una manta acústica.

Su coeficiente de absorción medido en el interior de una habitación reverberante se refleja en la tabla 40:

Tabla 40 Coeficiente acústico de las barreras Echo Barrier H9 medido en una habitación reverberante

Frequency [Hz]	$\alpha_s$
100	0.13
125	0.17
160	0.30
200	0.54
250	0.71
315	1.09
400	1.19
500	1.02
630	0.75
800	0.51
1000	0.36
1250	0.26
1600	0.19
2000	0.17
2500	0.14
3150	0.14
4000	0.15
5000	0.11

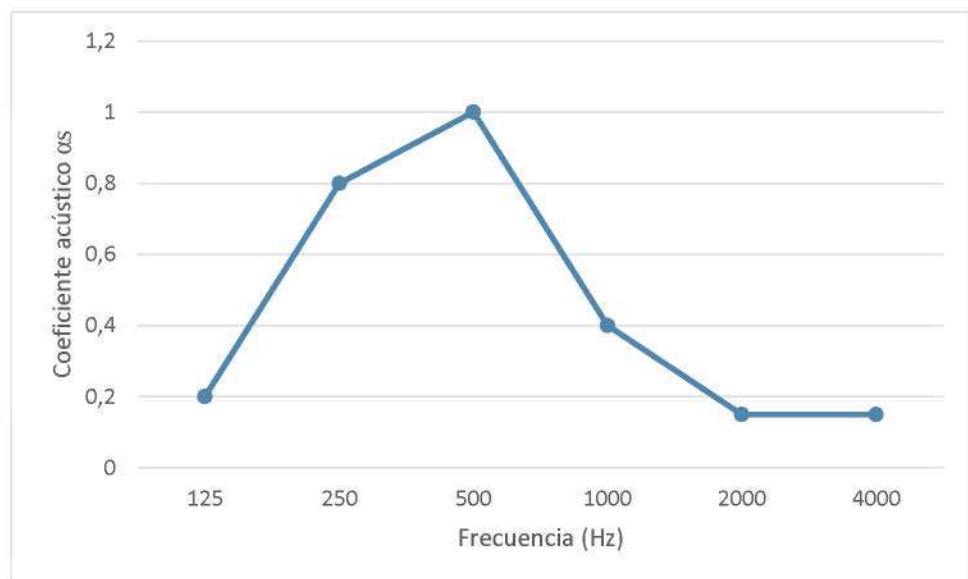


Como indica el gráfico, el coeficiente es mayor a medias frecuencias, alcanzando su máximo en 400 Hz con un coeficiente  $\alpha_s$  de 1.19. Tanto la tabla como la curva se basan en mediciones realizadas con la norma ISO 354:2003 de referencia.

Su coeficiente de absorción al ser empleado en edificios se muestra en la tabla 41:

Tabla 41 Coeficiente acústico de las barreras Echo Barrier H9 para un uso en edificios

Frequency [Hz]	$\alpha_{pi}$
125	0.20
250	0.80
500	1.00
1000	0.40
2000	0.15
4000	0.15

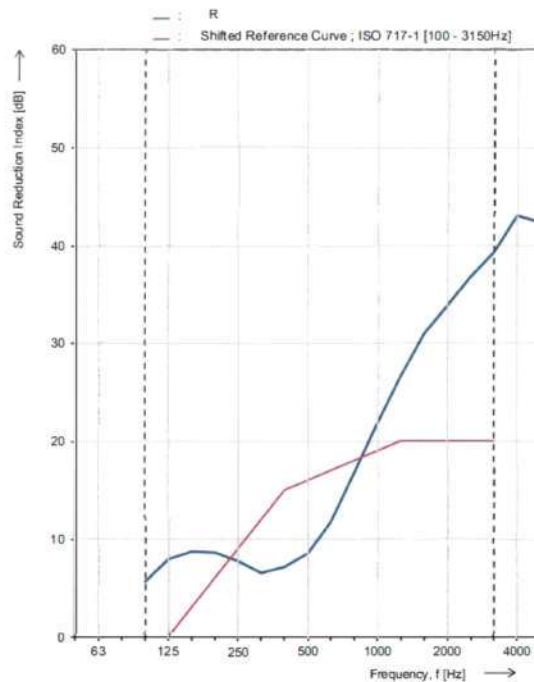


Se puede observar cómo el coeficiente es mayor a medias frecuencias, alcanzando su máximo en 500 Hz con un coeficiente  $\alpha_s$  de 1.0.

El índice de reducción sonora se detalla en la tabla 42:

**Tabla 42 Índice de reducción sonora de las barreras Echo Barrier H9**

Frequency f [Hz]	R ½ octave [dB]
50	-
63	-
80	-
100	5.6
125	7.9
160	8.7
200	8.6
250	7.7
315	6.5
400	7.1
500	8.5
630	11.7
800	16.7
1000	21.8
1250	26.6
1600	30.9
2000	33.8
2500	36.8
3150	39.3
4000	43.0
5000	42.3



Como muestra el gráfico, las lonas H9 reducen mayor nivel a altas frecuencias, alcanzando su máximo a 4000Hz, reduciendo un total de 43 dB. Tiene un aislamiento acústico de 16 dB. La curva de reducción se ha comparado con la curva de referencia de la norma ISO 717-1, obtenida para un rango de frecuencias de 100 a 3150 Hz.

Características:

- Peso ligero: pesa alrededor de 5.5 kilos la unidad, por lo cual es manejable por una sola persona.
- Su capa exterior es impermeable
- Está certificado según la norma BSEN 60529 en cuanto al comportamiento frente al polvo.
- Aguanta temperaturas de -40°C certificado según la norma BSEN 60068/2
- Permite ser visto en la oscuridad por sus bandas reflectantes
- Test de tensión: 5.25 kN en vertical y 1.1 kN en horizontal.
- El comportamiento frente al agua está certificado IPX6/IPX9 según la norma BSEN 60529
- El comportamiento frente al fuego está certificado C-s3-d2 según la norma UNE-EN ISO 1350.

Las medidas de la tela son de 2050 mm de alto por 1330 mm de ancho pudiendo unirse entre sí mediante piezas de velcro industrial, tensores textiles o metálicos.

La siguiente imagen muestra una escala de las dimensiones de la barrera comparadas con la altura de una persona:



Ilustración 45 Medidas de la barrera Echo Barrier H9

Su disposición puede ser recubriendo pantallas acústicas o muros ya existentes o sobre andamios colocados alrededor del escenario y recinto.

Ejemplos de uso:



Ilustración 46 Ejemplos de uso de barrera Echo Barrier H9

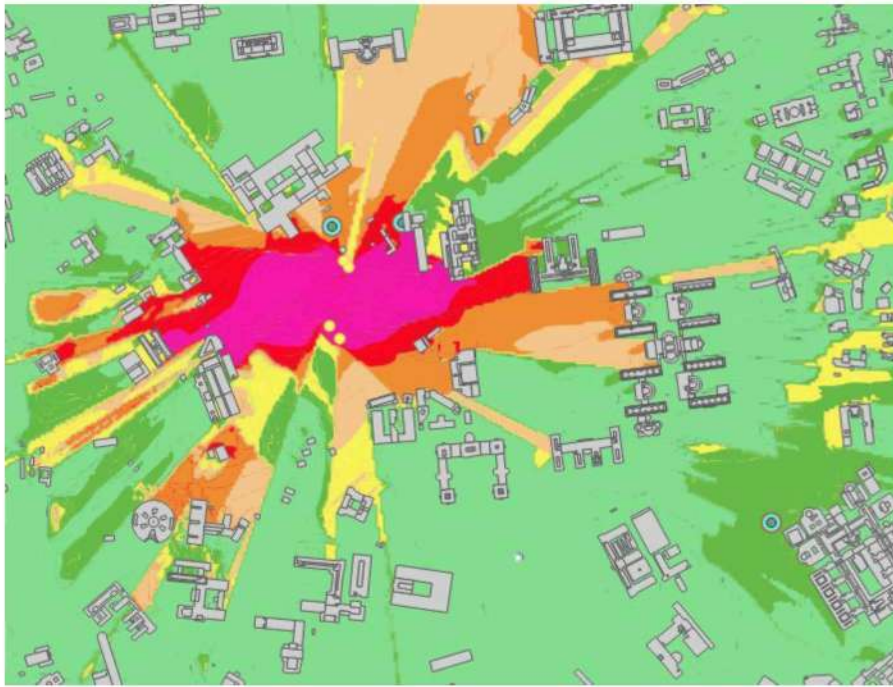
Como el modelo H9 de Echo Barrier no está en la base de datos de LimA, se ha elegido como modelo una pared de piedra para la simulación. Esta pared se ha colocado rodeando los escenarios por las caras laterales y traseras, dejando la cara delantera abierta para la correcta realización del evento, como se puede ver en la ilustración 47.



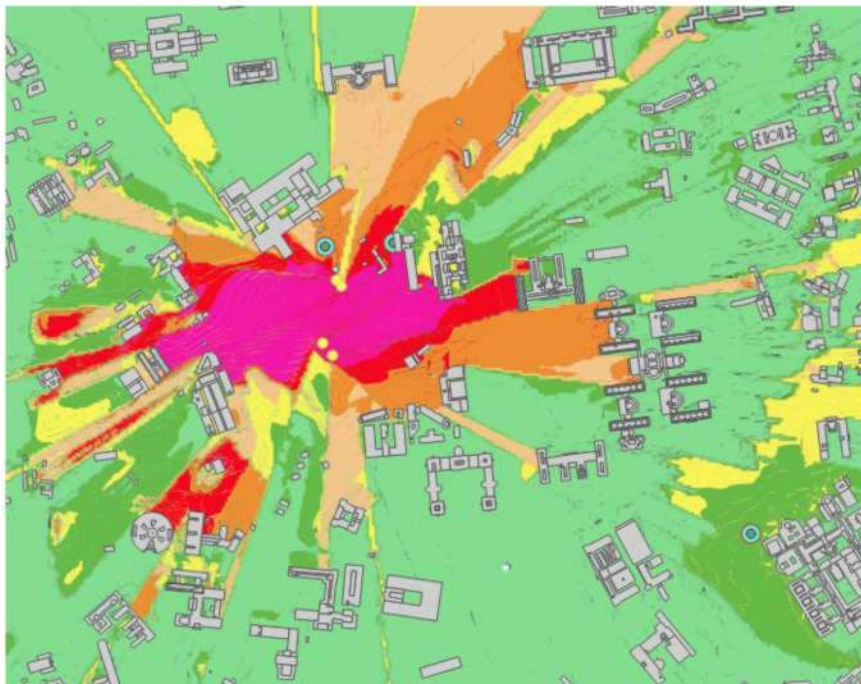
**Ilustración 47 Disposición de las barreras acústicas en Lima**

Se ha elegido una altura de 12 metros para las barreras acústicas, teniendo en cuenta que las dimensiones de los escenarios son, aproximadamente de 57 metros de largo por 20 metros de ancho por 17 metros de alto.

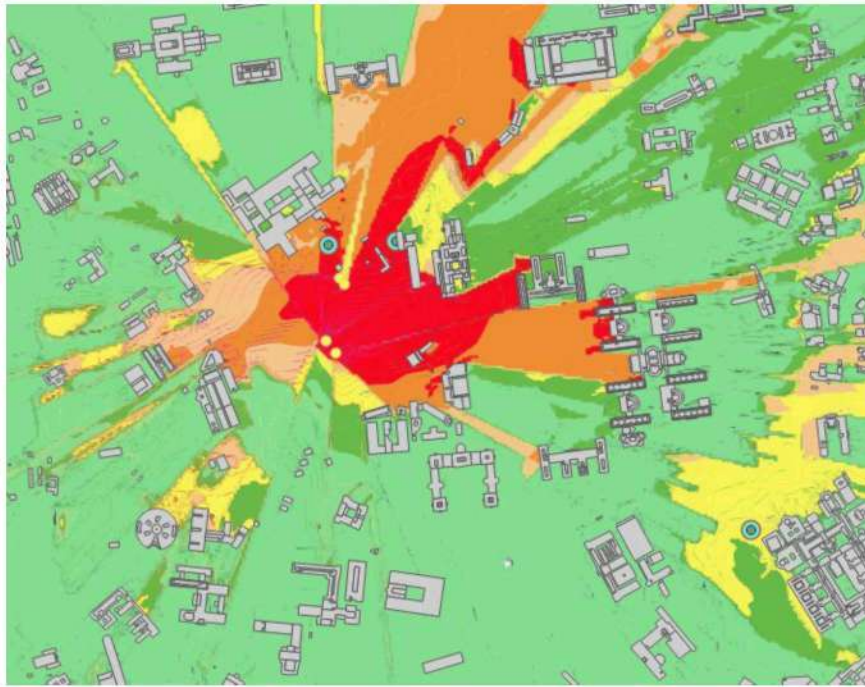
Se presentan a continuación los resultados en las ilustraciones 48, 49 y 50:



**Ilustración 48** Resultados de la simulación del nivel acústico del evento con telas acústicas en el periodo diurno



**Ilustración 49** Resultados de la simulación del nivel acústico del evento con telas acústicas en el periodo vespertino



**Ilustración 50 Resultados de la simulación del nivel acústico del evento con telas acústicas en el periodo nocturno**

Los niveles obtenidos en el receptor del Hospital son:

**Tabla 43 Niveles obtenidos en el Hospital con las telas acústicas**

Periodo	Diurno	Vespertino	Nocturno
Nivel Hospital	53 dB	53 dB	56 dB

Esta solución, aparte de ser la más costosa económicamente, incumpliría los niveles permitidos por la OPCAT. Pese a que visualmente se observa una reducción del impacto sonoro, los niveles en la fachada del Hospital no son lo suficientemente bajos. Esto se debe a que el hospital se encuentra a más de 1 kilómetro de distancia y al tratarse de largas distancias, el impacto no se atenúa. Esta solución se contempla para localizaciones más cercanas.

Por lo tanto, esta solución sin una previa reducción de los niveles de emisión, no se considera válida.



## 9. Presupuesto

Para el primer y segundo caso, no es necesario calcular un presupuesto. En el primer caso porque el hecho de regular el nivel acústico de salida no supone un incremento económico y en el segundo caso porque el montaje se realizaría de la manera comentada y no como la original.

Sin embargo, para el caso de las lonas acústicas, requiere el presupuesto de este material y el del técnico responsable.

Además, se añade el presupuesto para la realización del presente estudio con todos los softwares empleados:

**Tabla 44 Presupuesto del proyecto**

Artículo	Unidades	Horas	Presupuesto Parcial	Presupuesto final
Sonómetro + preamplificador + pie de micro+ software	1	48 h	Prestado por la Universidad	0 €
QGis	1	200	-	0 €
LimA	1	150	545 €/año	545 €
Transporte	1	2	20 €	20 €
Paneles acústicos Echo Barrier H9	265	72 h	163,50 €/unidad	43327,50 €
Lazo elástico	532	72 h	0,55 €/unidad	292,60 €
Gancho metálico	267	72 h	1,90 €/unidad	507,30 €
Manipulación de mercancía (Paletización)	4	-	189,64 €/unidad	758,56 €
Gastos de envío	-	-	810,54 €	810,54 €
Técnico	2	20 h	30 €/h	1200 €
<b>TOTAL: 47.514.96 €</b>				



## **10. Impacto del proyecto**

En este apartado se detallan los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) en los que este proyecto puede contribuir:

- **Salud y bienestar:** este proyecto pretende analizar la contaminación acústica que generó el festival Jardín de las Delicias 2023 y busca soluciones para reducirla y así mejorar la salud y el bienestar de los ciudadanos que cuyas viviendas se sitúen en las cercanías del entorno y prioritariamente a los pacientes del Hospital cercano.
- **Ciudades y comunidades sostenibles:** mediante la capacidad de realizar simulaciones de nivel y no necesariamente mediciones presenciales, con los desplazamientos necesarios incluidos, existe un ahorro de tiempo y energético y se promueve a una reducción de contaminación.
- **Cambio climático:** el ruido es uno de los factores más contaminantes que existen actualmente [13]. La reducción de este factor, aparte de dotar de mayor salud a los ciudadanos, promueve una ralentización del cambio climático, principalmente en entornos cercanos al mar, en donde las ondas sonoras se propagan a mayor velocidad.



## 11. Conclusiones

Este proyecto surgió con la idea de poder visualizar la contaminación acústica que provoca un evento de grandes dimensiones como es el Jardín de las Delicias, siguiendo la legislación vigente en Madrid además de empleando equipos y softwares homologados.

El primer objetivo fue obtener las mediciones necesarias para poder evaluar el festival. Para ello se empleó un sonómetro que, aun estando el preamplificador roto, se pudieron utilizar los resultados en un rango de frecuencias acotado.

Una vez obtenidas las medidas tanto de ruido del festival como de ruido de fondo, el siguiente objetivo fue exportar los datos a Excel a través del software propio del sonómetro, Evaluator, y realizar los cálculos necesarios para obtener el valor  $L_{Aeq,5s}$  para cada periodo y posición. Además, con las condiciones meteorológicas, se calculó la incertidumbre para todas las medidas.

Con esos valores, se saca un promedio por escenario para añadir a las simulaciones. Con el software QGis se monta un modelo de cálculo y con LimA se añaden las potencias acústicas y se realizan los cálculos, que se vuelven a añadir a QGis para visualizarlos con una leyenda de colores.

Por último, con los resultados obtenidos, se sacan 3 soluciones distintas para abordar el problema de la contaminación acústica en el Hospital Clínico San Carlos. La primera de ellas consiste en bajar el nivel de emisión, para ello se cambian los valores acústicos de cada escenario y se vuelve a simular. La segunda solución consiste en un cambio en la disposición de los escenarios. Y la tercera consiste en la implementación de unas lonas acústicas en la parte trasera de ambos escenarios. Esta última solución es la más costosa e innecesaria puesto que se consiguen resultados similares a las otras soluciones con un coste económico extenso.

Como conclusión personal, este proyecto ha sido una grata experiencia en donde se han adquirido muchos conocimientos técnicos. Refleja la importancia de realizar grandes eventos en la lejanía de edificios residenciales o sanitarios para evitar la contaminación acústica en sus fachadas, y el coste que tendría solventar esa contaminación mediante barreras o lonas acústicas.



## 12. Referencias

- [1] Ayuntamiento de Madrid, "Ordenanza de Protección contra la Contaminación Acústica y Térmica, de 25 de febrero de 2011" Ayuntamiento de Madrid. [En línea]. Disponible en: [https://sede.madrid.es/FrameWork/generacionPDF/ANM2021\\_369.pdf?idNormativa=1437b2e71930b810VgnVCM1000001d4a900aRCRD&nombreFichero=ANM2021\\_369&cacheKey=20](https://sede.madrid.es/FrameWork/generacionPDF/ANM2021_369.pdf?idNormativa=1437b2e71930b810VgnVCM1000001d4a900aRCRD&nombreFichero=ANM2021_369&cacheKey=20)
- [2] LimA: Yuliya\_2, "Microsoft Word - IE\_About\_LimA.DOC," GNU Ghostscript 7.05, 27-ago-2013.
- [3] QGIS Development Team, "QGIS 3.28 Desktop User Guide," QGIS. [En línea]. Disponible en: <https://docs.qgis.org/3.28/pdf/es/QGIS-3.28-DesktopUserGuide-es.pdf>
- [4] Brüel & Kjær, "¿Qué es un sonómetro?," Brüel & Kjær. [En línea]. Disponible en: <https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/sound/what-is-a-sound-level-meter>
- [5] Ingenio en Red, "EQ 2260: Sonómetro," Ingenio en Red. [En línea]. Disponible: [https://www.ingenioenred.es/documents/Machines/EQ\\_2260.pdf](https://www.ingenioenred.es/documents/Machines/EQ_2260.pdf)
- [6] "Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas." Boletín Oficial del Estado, no. 254, pp. 42952-42973, 23-oct-2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42952-42973.pdf>
- [7] Los40, "Jardín de las Delicias 2023: cartel completo, horarios, actuaciones y cómo llegar al recinto," Los40, 20-sep-2023. [En línea]. Disponible en: <https://los40.com/2023/09/20/jardin-de-las-delicias-2023-cartel-completo-horarios-actuaciones-y-como-llegar-al-recinto/>
- [8] "Acústica – Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental," UNE-ISO 1996, 2019.
- [9] Meteoblue, "Archivo climático y meteorológico de Moncloa-Aravaca, España," Meteoblue. [En línea]. Disponible en: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/moncloa-aravaca\\_espa%C3%B1a\\_6544099](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/moncloa-aravaca_espa%C3%B1a_6544099)
- [10] "Acústica – Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental – Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental," UNE-ISO 1996-2, 2019.
- [11] IDEAM, "Geoportal de Madrid," IDEAM. [En línea]. Disponible en: [https://geoportal.madrid.es/IDEAM\\_WBGEOPORTAL/index.iam](https://geoportal.madrid.es/IDEAM_WBGEOPORTAL/index.iam)
- [12] Echo Barrier, "H9 Acoustic Barrier," Echo Barrier. [En línea]. Disponible en: <https://es.echobarrier.com/products/h9-acoustic-barrier>

[13] RTVE, "Ruido, salud y el derecho al cambio climático," 27 de abril de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.rtve.es/television/20220427/ruido-salud-derecho-cambio-climatico/2336821.shtml>. [Accedido: 15-jul-2024].