

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grau en Eng. Sist. Telecom., So i Imatge



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Evaluación acústica ambiental de la población de El Perelló generado por el tráfico rodado sobre las zonas residenciales, docentes y sanitarias”

TREBALL FINAL DE GRAU

Autor/a:

Javier Sánchez Llopis

Tutor/s:

Juan Antonio Martínez Mora

GANDIA, 2019

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1	PARÁMETROS PARA ESTUDIAR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	5
2.	CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	10
2.1	EFFECTOS PRODUCIDOS POR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.....	12
2.1.1	EFFECTO AUDITIVO.....	12
2.1.2	EFFECTO NO AUDITIVO	13
3	LEGISLACIÓN	15
3.1	LEY ESTATAL.....	15
3.2	LEY AUTONÓMICA.....	16
4	QUE ES Y PARA QUE SE UTILIZA UN MAPA ACÚSTICO	17
5	REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS <i>IN SITU</i>	19
5.1	METODOLOGIA	19
5.2	INSTRUMENTACION Y CONDICIONES DE MEDIDA	22
5.3	PROCEDIMIENTO REALIZADO EN LAS MEDIDAS	23
6	RESULTADOS DE LAS MEDIDAS <i>IN SITU</i>	24
6.1	CAUDAL DE VEHICULOS.....	24
6.2	NIVEL SONORO EQUIVALENTE	25
7	CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES EN LAS MEDIDAS	25
7.1	INCERTIDUMBRE EN LA INSTRUMENTACION	27
7.2	INCERTIDUMBRE EN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN	30
7.3	INCERTIDUMBRE SEGÚN EL CLIMA Y EL SUELO.....	31
7.4	INCERTIDUMBRE DEBIDO AL SONIDO RESIDUAL	32
7.5	INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR COMBINADA Y EXPANDIDA.....	34
7.6	INCERTIDUMBRE TOTAL EN CADA PUNTO	35
8	SIMULACIÓN MEDIANTE PREDICTOR	36
8.1	NORMAS DE PREDICCIÓN.....	36
8.2	IMPORTACION DEL MAPA AL PREDICTOR	37
8.3	INTRODUCCION DE DATOS EN EL PREDICTOR.....	38
8.4	SIMULACIÓN	41
9	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	42
9.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENTRE LO MEDIDO <i>IN SITU</i> Y LO SIMULADO.....	42
9.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMATIVAS	44
10	CONCLUSIONES.....	45
11	PLAN DE ACTUACIÓN.....	46
	BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Respuesta en Frecuencia relativa a las curvas de ponderación.....	9
Tabla 2. Anexo II del Real Decreto 1367/2007	16
Tabla 3. Niveles máximos admisibles.....	17
Tabla 4. Caudal de vehículos en los diferentes puntos de medida.....	24
Tabla 5. Resultado obtenido en las muestras medidas con el sonómetro y su promedio	25
Tabla 6. Incertidumbre de la medida del <i>LAeq</i> según la ISO 1996-2.	26
Tabla 7. Incertidumbre debida a las condiciones de operación	30
Tabla 8. Incertidumbre debida al sonido residual	33
Tabla 9. Incertidumbre combinada y expandida.	34
Tabla 10. Niveles de ruido con incertidumbre asociada.....	35
Tabla 11. Resultados entre medidas in situ y simuladas	43
Tabla 12. Verificación de las normativas	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Onda Sinusoidal.....	6
Figura 2. Curvas de ponderación frecuencial.....	8
Figura 3. Curvas isofónicas.....	9
Figura 4. Mapa de El Perelló con los puntos de medida seleccionados. Fuente Google Maps..	19
Figura 5. Punto 2: CV-500	20
Figura 6. Punto 3: CV-500	20
Figura 7. Punto 7: CV-500	20
Figura 8. Punto 8: CV-500	20
Figura 9. Punto 11: Av. Del Pantá	20
Figura 10. Punto 12: Av. Del Pantá	20
Figura 11. Punto 13: Vía sucronense	21
Figura 12. Punto 14: Vía sucronense	21
Figura 13. Punto 17: d'Issac Peral.....	21
Figura 14. Punto 18: De Narcis Monturiol	21
Figura 15. Punto 20: d'Issac Peral.....	22
Figura 16. Punto 21: d'Issac Peral.....	22
Figura 17. Punto 22: Roger de Llúria.....	22
Figura 18. Punto 23: Roger de Llúria.....	22
Figura 19. Barra herramientas para introducir objetos.....	38
Figura 20. Mapa de fondo donde se han añadido los objetos.....	39
Figura 21. Mapa 2D.....	40
Figura 22. Mapa 3D, comprobación visual de la altura de los edificios.....	40
Figura 23. Mapa de colores según los niveles sonoros en el período diurno.....	41
Figura 24. Mapa acústico en donde se muestran los <i>LAeq</i> diurnos en 3D.....	41
Figura 25. Mapa de colores según los niveles sonoros en el período nocturno.....	42

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es llevar a cabo un estudio de la contaminación acústica de la población de "El Perelló".

En primer lugar se realiza un diagnóstico del estado actual en el que se encuentra la población mediante un mapa acústico y después del análisis de los resultados se propondrá un plan de actuación, con medidas correctoras concretas en el caso de que fuese necesario. Para elaborar el mapa acústico, se establecen 23 puntos de medida repartidos por toda la población, en especial cerca de las principales fuentes de ruido como la carretera secundaria CV-500 que pertenece a la red de carreteras de la Comunidad Valenciana que comunica Sueca con Valencia, que es la vía con mayor tráfico. Otro criterio importante a la hora de elegir los puntos de medida es que estos estén cerca de zonas sensibles a proteger, en nuestro caso el centro de salud y el centro escolar.

Una vez seleccionados los puntos de medida se realiza una campaña de medición de los niveles sonoros en periodo diurno. De acuerdo con la legislación de la Comunidad Valenciana dentro del horario diurno (8:00h-22:00h).

Se realizara también una simulación de los niveles de ruido utilizando el programa Bruel & Kjaer Predictor v7.10. Con el cual obtenemos un mapa sonoro con los diferentes niveles de ruido. Para validar el modelo introducido en el programa y sus resultados, se compararan los valores medidos y simulados comprobando que la diferencia sea del orden de 3 dB.

La contaminación acústica se evalúa comparando los datos obtenidos con los objetivos de calidad definidos por la legislación autonómica y la estatal.

Por último se realizara un plan de actuación para mejorar los niveles de ruido.

PALABRAS CLAVE: Contaminación acústica, Plan acústico municipal, Mapa de ruido, Predicción acústica, Calculo de incertidumbres.

ABSTRACT

The main objective of this project is to carry out a study of the noise pollution of the population of "El Perelló".

First, a diagnosis is made of the current state in which the population is located through an acoustic map and after the analysis of the results an action plan will be proposed, with concrete corrective measures if necessary. To prepare the acoustic map, 23 measurement points are distributed throughout the population, especially near the main sources of noise such as the CV-500 secondary road that belongs to the road network of the Valencian Community that communicates Sueca with Valencia, which is the road with the highest traffic.

Another important criterion when choosing the measuring points is that they are close to sensitive areas to protect, in our case the health center and the school.

Once the measurement points have been selected, a campaign to measure the sound levels during the day period is carried out. In accordance with the legislation of the Valencian Community within the daytime (8: 00h-22: 00h).

A simulation of noise levels will also be performed using the Bruel & Kjaer Predictor v7.10 program. With which we obtain a sound map with the different noise levels. To validate the model introduced in the program and its results, the measured and simulated values will be compared checking that the difference is of the order of 3 dB.

Noise pollution is evaluated by comparing the data obtained with the quality objectives defined by the regional and state legislation.

Finally, an action plan will be made to improve noise levels.

KEY WORDS: Acoustic pollution, Municipal acoustic plan, Noise map, Acoustic prediction, Calculation of uncertainties.

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se realiza un estudio para conocer la situación acústica con la que conviven los ciudadanos de “El Perelló”. Se evaluará y se comprobará si se cumple la legislación vigente en materia de ruido.

Siguiendo la legislación vigente y tomando medidas *in situ* se estudia la zona y los focos de contaminación acústica y como afectan a la población.

Paralelamente se llevará a cabo la predicción de los niveles sonoros utilizando el programa de Bruel & Kjaer Predictor v7.10. Se compararan los valores medidos y simulados para comprobar la validez del modelo de simulación.

Una vez obtenidos los resultados se compararan con los umbrales que marca la legislación estatal y autonómica. Y por último, se realizara un plan de actuación en las zonas donde se considere necesario, con diferentes medidas correctoras para disminuir los niveles de ruido.

A continuación se introducirán de forma resumida los principales parámetros para evaluar la contaminación acústica.

1.1 PARÁMETROS PARA ESTUDIAR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La acústica es la rama de la física que estudia el sonido, el cual se define como la variación de presión producida en un medio (sólido, líquido o gaseoso) por un elemento que vibra y que el oído humano puede detectar.

En cambio, el ruido se define como un conjunto de sonidos no armónicos o descompasados, no es más que un sonido indeseado, molesto y desagradable y su clasificación no es tanto una cuestión acústica como psicológica. Por lo tanto, introduciremos los parámetros objetivos que debemos conocer del ruido, para proceder a su reducción o eliminación.

La variación de presión de sonido más simple produce la formación de una onda sinusoidal (por ejemplo con un silbido) como la de la siguiente figura:

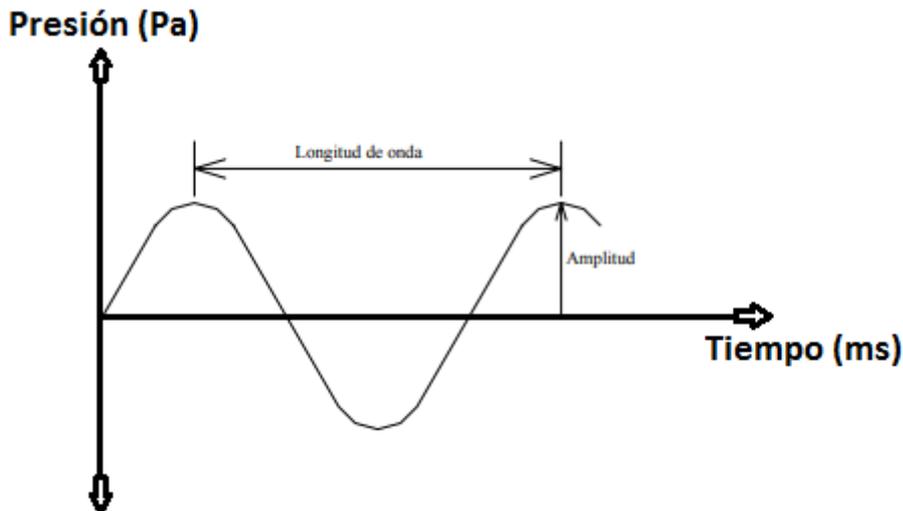


Figura 1. Onda Sinusoidal

Este fenómeno físico (movimiento ondulatorio) se puede modelizar matemáticamente introduciendo las magnitudes físicas que lo caracterizan:

- **FRECUENCIA (f):** Es el número de variaciones de presión por unidad de tiempo, expresándose en Hercios (Hz).
- **LONGITUD DE ONDA (λ):** Es la distancia entre dos máximos de amplitud sucesivos en una onda sinusoidal. Se relaciona con la frecuencia mediante la expresión: $\lambda = c/f$. Siendo c la velocidad de propagación del sonido y f la frecuencia
- **PERIODO (T):** Es el tiempo transcurrido entre dos picos o senos sucesivos. Se relaciona con la frecuencia mediante la expresión: $T = 1/f$
- **EI NIVEL o AMPLITUD (A):** Mide las variaciones de presión, es decir, la amplitud de la onda. Dado que las variaciones de presión audibles se encuentran en una gama muy amplia, variando entre 20 y 100 Pa. Es muy común en ingeniería acústica utilizar para su medición una unidad logarítmica llamada **DECIBELIO (dB)** en la que interviene una magnitud de referencia, que es precisamente la mínima presión audible o presión umbral que podemos oír. En forma de fórmula:

$$Lp = 20 \log \frac{P}{P_0} (dB)$$

Donde P_0 es la presión de referencia y vale 20 μ Pa

De forma análoga para la potencia sonora se define el nivel de potencia sonora (Lw), como la potencia sonora de una fuente expresada en vatios, transformada a una escala logarítmica, expresándose en decibelios.

$$Lw = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) dB$$

Donde $W_0 = 10^{-12}$ vatios (Potencia acústica de referencia)

Como el paso de las ondas sonoras se acompaña de un flujo de energía acústica, se define la **Intensidad del sonido I**, en una dirección específica en un punto del campo sonoro como la potencia media de sonido por unidad de área normal a la dirección de propagación de la onda. Si estuviéramos hablando de una fuente pequeña que emite una potencia de sonido "W" en forma esférica, la intensidad acústica a una distancia "r" sería:

$$I = W/4\pi r^2$$

Se puede comprobar que a una distancia suficiente de la fuente de ruido, la intensidad es proporcional al cuadrado de la presión de sonido, es decir, existe una relación entre la intensidad sonora y la presión sonora, que es la siguiente:

$$I = P^2/\rho \cdot c$$

Donde I= Intensidad acústica en W/m^2 , P = Presión del sonido en Pascales, ρ = Densidad en el medio en kg/m^3 y c= Velocidad del sonido en el medio en m/s.

De igual forma se define el Nivel de intensidad sonora (LI), como la potencia sonora de una fuente expresada en vatios/ m^2 , transformada a una escala logarítmica, expresándose en decibelios.

$$LI = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) dB$$

Siendo I_0 la intensidad sonora de referencia $I_0 = 10^{-12} W/m^2$

Los ruidos generalmente están compuestos por variaciones de presión de diferentes frecuencias. El sistema auditivo humano está capacitado para oír sonidos de frecuencias comprendidas entre los 20 Hz y los 20 kHz. El oído humano es más sensible en la banda comprendida entre los 2000 y 4000 Hz.

Dada la amplia banda o gama de frecuencias audibles, para realizar estudios de ruido no es posible analizarlas una a una, por lo que ha sido dividida dicha banda en 10 bandas más pequeñas denominadas OCTAVAS en las que cada banda se asocia con su frecuencia central: (31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2.000, 4.000, 8.000) Hz.

Para estudios de mayor precisión, se definen bandas de menor ancho, denominadas TERCIOS de OCTAVA (o más finas doceavos, veintecuatroavos,...de OCTAVA).

El análisis de frecuencia de bandas de octava es necesario para investigar una fuente sonora, y predecir las características de aislamiento necesarias para las barreras de ruido, recintos aislantes o para medir la reducción de ruido entre particiones entre dos recintos.

- **PONDERACIÓN FRECUENCIAL:**

Puesto que el oído humano no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias, resulta lógico que al efectuar una medición de ruido se tenga en cuenta esta particularidad. Por ello, se establecen y se han normalizado diferentes **ponderaciones frecuenciales A, B y C:**

Las ponderaciones **corrigen** las medidas para adaptarlas a la respuesta del oído humano. La ponderación A (es la que se utiliza en la legislación y normativas de ruido) se utiliza para evaluar todas las fuentes de ruido, salvo los impulsivos o con contenido de baja frecuencia

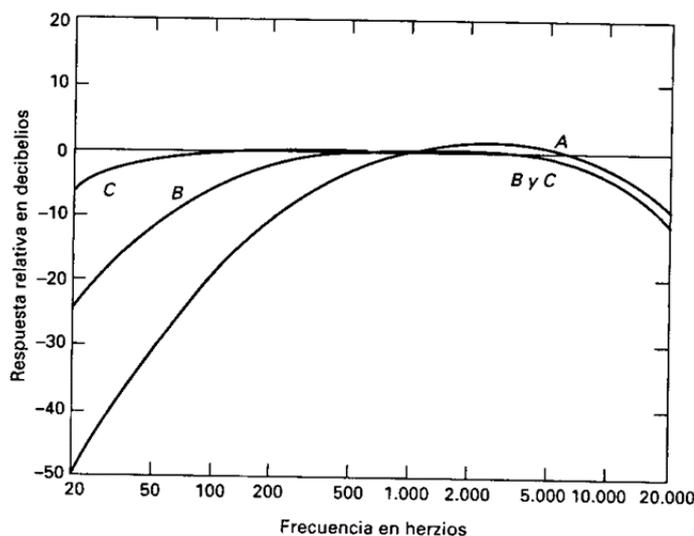


Figura 2. Curvas A, B y C de ponderación frecuencial

El nivel sonoro más utilizado es el A, ya que es la que más se adapta a las características del sistema auditivo. Cuando una medida del nivel sonoro tiene esta ponderación se suele representar el valor acompañado con dB(A). Los valores de las curvas se muestran en la tabla 1 para la ponderación A con respecto a las frecuencias más utilizadas, también se muestran las redes B y C.

Banda frecuencia Octavas (Hz)	Corrección en dB		
	Red A	Red B	Red C
31.5	-39.4	-17	-3
63	-26.2	-9	-1
125	-16.1	-4	0
250	-8.6	-1	0
500	-3.2	0	0
1000	0	0	0
2000	1,2	0	0
4000	1	-1	-1
8000	-1,1	-3	-3

Tabla 1. Respuesta en Frecuencia relativa a las curvas de ponderación

A continuación, podemos ver también las curvas isofónicas en la siguiente figura, donde los dos principales parámetros son: La intensidad expresada en (dB), y la frecuencia expresada en (Hz) en el rango audible de una persona entre 20 Hz a 12,5 KHz. Estas curvas calculan la relación existente entre la frecuencia y la intensidad del sonido. A 1kHz, los valores en fonios coinciden con los niveles sonoros y todos los puntos sobre una misma curva isofónica tienen la misma sonoridad. Cuanto mayor es el nivel de intensidad, más planas son las curvas, es decir, menos dependen de la frecuencia del sonido.

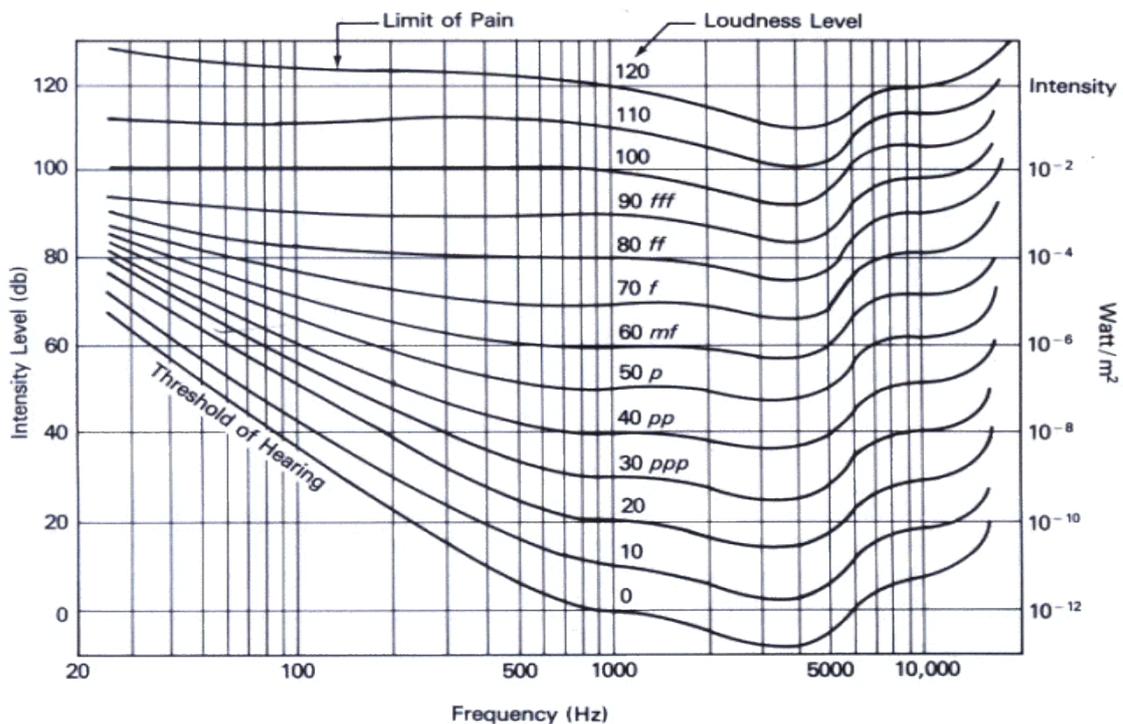


Figura 3. Curvas isofónicas

- **NIVEL SONORO EQUIVALENTE (L_{Aeq}):**

Valor del nivel de presión sonora (en ponderación A) de un ruido continuo que durante el mismo periodo de tiempo de medida T, tuviera el mismo valor medio de la presión al cuadrado que la del sonido bajo consideración, cuyo nivel varía con el tiempo:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{P_0^2} dt \right) dB(A)$$

Siendo T el tiempo de medida, $p_A(t)$ la presión sonora instantánea en Pa, y P_0 la presión de referencia, cuyo valor es $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Éste valor se utiliza para evaluar ruidos como los originados por el tráfico rodado.

- **NIVEL SONORO EQUIVALENTE DIA, TARDE Y NOCHE (L_{den}):**

El nivel sonoro equivalente día tarde y noche L_{den} es un indicador recomendado en la ley del ruido y en la normativa comunitaria.

$$L_{den} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) dB(A)$$

Donde en el L_{den} se introduce una corrección de 5 dB(A) para penalizar el ruido que se origina por la tarde (de 19 a 23 horas), y otra de 10 dB(A) para penalizar más el ruido que se origina por la noche (de 23 a 7 horas), ya que el ruido produce un mayor grado de molestia.

2. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Se define contaminación acústica al exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona afectando a las personas o a los animales, esto puede producir efectos fisiológicos o psicológicos en las personas.

Esta alteración se denomina ruido y puede generarse por efectos de la naturaleza como el viento, la lluvia, las olas del mar, etc. O por ruidos producidos por animales. También por fuentes antropogénicas causadas por la actividad humana (tráfico, obras, ruido industrial, etc).

Se clasifican en distintos tipos:

- **Tráfico rodado:**

El tráfico rodado es la mayor fuente sonora en las zonas urbanas y es con diferencia la que más impacto tiene sobre la población. El ruido del tráfico que producen los vehículos cuando están en circulación. En un vehículo es la suma de los diversos ruidos provocados por el motor, neumáticos, rozamiento con el aire, etc. El ruido de tráfico será la contribución de cada uno de los vehículos en el cual influye también el estado del asfalto de la carretera.

- **Tráfico ferroviario:**

Es el ruido producido en concreto durante el paso de un tren y más en general por el conjunto de diferentes categorías de trenes que circulan por esa vía bajo estudio, originados en la interacción de los raíles con las ruedas como resultado de los choques y vibraciones, el ruido del motor, la fricción con el aire, etc..

- **Tráfico aéreo:**

Es el ruido provocado por el sobrevuelo de los aviones, despegue y aterrizaje de los aviones. La potencia acústica es máxima cuando el avión está más próximo al suelo, esto ocurre en las fases de despegue y aterrizaje, lógicamente la población más afectada estará situada en las proximidades de los aeropuertos

- **Ruido en las industrias:**

Las industrias también son una fuente de ruido importante en muchas zonas urbanas, y por tanto suelen situarse a una cierta distancia de las zonas residenciales en los llamados polígonos industriales.

- **Otras fuentes de sonido:**

Obras públicas y construcciones, estadios de fútbol, zonas de ocio, colegios...

La constante exposición al ruido puede afectar tanto a nuestra salud física como mental.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha catalogado la contaminación acústica como el segundo mayor problema medioambiental en Europa, con un impacto en la salud contrastado: Provoca estrés, problemas de sueño, afecciones a las capacidades cognitivas, enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

Según la OMS: En la Unión Europea alrededor del 40% de la población está expuesta al ruido de tráfico con un nivel equivalente de presión sonora que excede 55 dBA durante el día y 20% están expuestos a más de 65 dBA. También más del 30% de la población están expuestos durante la noche a niveles de presión sonora que exceden 55 dBA y que les producen trastornos en el sueño. La OMS considera los 70 dBA, como límite superior deseable. Estos datos han sido obtenidos del documento de la OMS sobre Guías para el ruido urbano [10]. Se basa en el documento “*Community Noise*”, preparado para la OMS y publicado en 1995.

En España el tráfico rodado es el responsable del 90% de la contaminación acústica en las ciudades.

Las leyes europeas establecen que son contaminantes todos los ruidos con una intensidad superior a los 55 dBA emitidos durante el día y 50 dBA durante la noche.

La exposición a sonidos fuertes, si su duración es corta, provoca cansancio en las células sensoriales auditivas y produce pérdidas de audición temporal que en general son recuperables. Sin embargo si la duración de la exposición a sonidos elevados aumenta, esto supone con el tiempo, un grave riesgo de pérdida auditiva en diferentes grados que puede convertirse en permanente por ejemplo un trabajador sometido a altos niveles de ruido.

2.1 EFECTOS PRODUCIDOS POR LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

2.1.1 EFECTO AUDITIVO

El sistema auditivo se resiente ante una exposición prolongada a la fuente de un ruido, aunque esta sea de bajo nivel.

Cuando una persona se expone de forma prolongada a un nivel de ruido excesivo, nota un silbido en el oído, esta es una señal de alerta.

Inicialmente, los daños producidos por una exposición prolongada no son permanentes, sobre los 10 días desaparecen. Sin embargo, si la exposición a la fuente de ruido no cesa, las lesiones serán definitivas. La sordera irá creciendo hasta que se pierda totalmente la audición.

No solo el ruido prolongado es perjudicial, un sonido repentino, como el de una explosión o un disparo, pueden llegar a perforar el tímpano o causar otras lesiones irreversibles. Citando puntualmente los efectos auditivos que produce la exposición a un ruido tenemos: Desplazamiento Temporal del Umbral de Audición y el Desplazamiento Permanente del Umbral de Audición.

- **Desplazamiento temporal del umbral de audición (TTS: Temporary threshold shift)**

Consiste en una elevación del umbral producida por la presencia de un ruido, existiendo recuperación total al cabo de un período, siempre y cuando no se repita la exposición del mismo. Se produce habitualmente durante la primera hora de exposición al ruido. Esta puede causar dilatación de pupilas, fatiga, dolor de cabeza, etc.

- **Desplazamiento permanente del umbral de audición (PTS: Permanent threshold shift)**

Es el mismo efecto TTS pero agravado si el tiempo a la exposición al ruido aumenta. Cuando alguien se somete a numerosos TTS y durante largos periodos (varios años), la recuperación del umbral va siendo cada vez más lenta y dificultosa, hasta volverse irreversible.

El desplazamiento permanente del umbral de audición está directamente vinculado con la presbiacucia (pérdida de la sensibilidad auditiva que se incrementa con la edad y es un efecto análogo a la pérdida de visión con la edad presbicia).

La sordera producida por el desplazamiento permanente del umbral de audición en general afecta a ambos oídos y con idéntica sensibilidad. Esto supone con el tiempo, un grave riesgo de pérdida auditiva en diferentes grados (mediana entre 26-45 dB, moderada entre 46-65 dB, severa entre 66-85 dB, aguda mayor a 85 dB)

2.1.2 EFECTO NO AUDITIVO

Con el paso de los años, la contaminación acústica se ha convertido en un problema para la salud. Es por ello, que la industria presionada por la legislación ha aumentado sus esfuerzos para disminuir la emisión de ruido en fuentes específicas. Una opción para facilitar esta determinación de ruido en dichas fuentes, es localizando el punto de dicha fuente donde se genera la mayor intensidad de energía sonora. La contaminación acústica, además de afectar al oído como hemos comentado anteriormente puede provocar efectos psicológicos negativos y otros efectos fisiopatológicos.

Por supuesto, el ruido y sus efectos negativos no auditivos sobre el comportamiento y la salud mental y física dependen de las características personales, al parecer el estrés generado por el ruido se modula en función de cada individuo y de cada situación.

- **Efectos psicológicos:**

La exposición al ruido puede tener un impacto permanente sobre las funciones fisiológicas de los trabajadores y personas que viven cerca de aeropuertos, industrias y calles ruidosas. Después de una exposición prolongada, los individuos susceptibles pueden desarrollar efectos permanentes, como hipertensión y cardiopatía asociadas con la exposición a altos niveles de sonido.

Una exposición de largo plazo al ruido del tráfico con valores de LAeq,24h de 65-70 dBA también puede tener efectos cardiovasculares.

Todos los efectos psicológicos están íntimamente relacionados: Insomnio, fatiga, estrés, depresión, ansiedad, irritabilidad, agresividad, histeria, neurosis, aislamiento laboral.

- **Efectos psicopatológicos:**

Al estar sometido a niveles mayores de 60 dBA aparecen:

- Dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado, agitación respiratoria y aceleración del pulso, taquicardias, aumento de la presión arterial y dolor de cabeza.

A más de 85 dBA:

- Disminución de la secreción gástrica, gastritis o colitis. Aumento del colesterol y de los triglicéridos. Aumenta la glucosa en la sangre.

- **Efectos sobre el sueño:**

El ruido ambiental produce trastornos del sueño importantes. Puede causar efectos primarios durante el sueño y efectos secundarios que se pueden observar al día siguiente. El sueño ininterrumpido es un prerequisite para el buen funcionamiento fisiológico y mental. Los efectos primarios del trastorno del sueño son dificultad para conciliar el sueño, interrupción del sueño, alteración en la profundidad del sueño, cambios en la presión arterial y en la frecuencia cardíaca, incremento del pulso, vasoconstricción, variación en la respiración, arritmia cardíaca y mayores movimientos corporales. Los efectos secundarios al día siguiente son fatiga, depresión y reducción del rendimiento.

Para descansar apropiadamente, el nivel de sonido equivalente no debe exceder 30 dBA para el ruido continuo de fondo.

Se ha demostrado que sonido del orden de aproximadamente 60 dBA, reducen la profundidad del sueño.

- **Efectos sobre la conducta:**

Se producen a consecuencia de un ruido que provoca inquietud, inseguridad o miedo en algunos casos.

El ruido por encima de 80 dBA también puede reducir la actitud cooperativa y aumenta la actitud agresiva.

- **Efectos en la memoria:**
En tareas donde se utiliza la memoria se ha demostrado que existe un mayor rendimiento en aquellos individuos que no están sometidos al ruido.
- **Efectos de atención:**
El ruido hace que la atención no se localice en una actividad específica. Perdiendo así la concentración de la actividad.
- **Efectos en el embarazo:**
Se ha observado que las madres embarazadas que han estado expuestas en los cinco o seis meses de gestación, después del parto los niños no soportan el ruido, lloran cuando lo sienten, y al nacer tienen un tamaño inferior al normal. Además son más propensos a desarrollar problemas auditivos.
- **Efectos sobre los niños:**
El ruido repercute negativamente sobre el aprendizaje y la salud de los niños. Estos pierden su capacidad de atender señales acústicas, sufren perturbaciones en la capacidad de escuchar, así como un retraso en el aprendizaje de la lectura y la comunicación verbal.

3 LEGISLACIÓN

La lucha contra la contaminación acústica en las zonas urbanas incluye una serie de normativas reguladoras de emisión de ruido. Las regulaciones para el control de ruido se pueden promover a nivel internacional, estatal, autonómico o local.

3.1 LEY ESTATAL

Tras la Directiva Comunitaria 2002/49/CE sobre Ruido Ambiental, el Ministerio de Medio Ambiente aprobó la Ley de Ruido 37/2003 de 17 de noviembre. Esta ley, se reglamenta con los decretos Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre y Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre, es la legislación vigente estatal referente a la contaminación acústica.

Dicha ley, tiene por objetivo prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica para minorar los daños en la salud, los bienes o el medio ambiente, así como proteger el derecho a la intimidad de las personas y el disfrute de un entorno adecuado.

Estos objetivos se cumplen teniendo en cuenta todas las emisiones acústicas como, por ejemplo, actividades, infraestructuras, equipos o maquinaria. En ella,

se fijan objetivos de calidad acústica para cada una de las zonas, según los distintos usos del suelo (residencial, industrial, recreativo y de espectáculos, sanitario y docente, con infraestructuras de transporte o equipamientos públicos y espacios naturales, etc.), así como en espacios interiores habitables de las edificaciones, etc.

Los valores horarios de comienzo y fin de los distintos períodos son para el diurno: Ld (7.00-19.00), vespertino: Le (19.00-23.00) y nocturno: Ln (23.00-7.00), hora local.

En cuanto a los índices acústicos que marcan los objetivos de calidad acústica, en la Ley 37/2003 son:

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		Ld (dBA)	Le (dBA)	Ln (dBA)
e	Suelo sanitario, docente y cultural	60	60	50
a	Suelo de uso residencial	65	65	55
d	Suelo de uso terciario	70	70	65
c	Suelo de uso recreativo y de espectáculos	73	73	63
b	Suelo industrial	75	75	65
f	Infraestructura de transporte, u otros equipamientos públicos	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

Tabla 2. Anexo II del Real Decreto 1367/2007

3.2 LEY AUTONÓMICA

La Comunidad Valenciana tiene la Ley 7/2002, de 3 de Diciembre, de Protección contra la Contaminación Acústica cuyo objetivo es prevenir, vigilar y corregir este tipo de contaminación para proteger la salud de sus ciudadanos y mejorar la calidad de su medio ambiente.

Esta ley se ha desarrollado mediante el Decreto 19/2004, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor y el Decreto 266/2004, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con las actividades, instalaciones, obras y servicios, y el Decreto 104/2006, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica.

En referencia al Real Decreto 104/2006 el período diurno está comprendido entre las 08:00 y las 22:00 horas y el período nocturno está comprendido entre las 22:00 y las 08:00 horas.

Según la Ley 7/2002 debemos tener en cuenta que, para la medición y evaluación del ruido, los niveles de ruido se medirán en decibelios con ponderación normalizada A, es decir dBA. Respecto a la evaluación del nivel de recepción en la calle se debe medir al menos, con un margen de 2 metros de la fachada y el sonómetro debe estar a una altura de 1,5 metros del suelo, y en una zona libre de obstáculos o superficies reflectantes.

En caso de realizarse a menos de 2 metros de una fachada, se debe corregir el error restándole 3 dBA al valor resultante en concepto de corrección por reflexión.

El micrófono se debe orientar hacia la fuente con una ligera inclinación hacia arriba de 30-45 grados.

Si el ruido es bastante uniforme deberán realizarse, al menos, tres mediciones, de una duración mínima de un minuto, con intervalos mínimos entre medidas de un minuto también.

Si el ruido es variable, deberán realizarse, al menos, tres series de mediciones, con tres mediciones en cada serie de una duración mínima de cinco minutos, con intervalos mínimos entre cada serie de cinco minutos.

Relacionado con los instrumentos de medida cabe destacar que los sonómetros empleados deben ser, del tipo 1.

Se deben asegurar unas buenas condiciones de medición tanto del equipo como meteorológicas, es muy importante que el sonómetro y el acelerómetro (para medir vibraciones) estén calibrados con un calibrador de clase 1 antes y después de cada medición.

Las mediciones en el ambiente exterior requieren siempre de la utilización de una pantalla anti-viento en el micrófono con el fin de minimizar los efectos del viento sobre la rejilla del micrófono, del polvo, de la humedad y protegerlo de pequeños golpes.

Es necesario tener unas condiciones meteorológicas favorables del viento, lluvia u otros, en caso contrario ha de constar en el informe o si son muy desfavorables aplazar la medición.

En cuanto a los índices acústicos, en la Ley 7/2002:

Tipo de área acústica	Nivel sonoro dBA	
	Día	Noche
Suelo sanitario y docente	45	35
Suelo residencial	55	45
Suelo terciario	65	55
Suelo industrial	70	60

Tabla 3. Niveles máximos admisibles

4 QUE ES Y PARA QUE SE UTILIZA UN MAPA ACÚSTICO

Los mapas acústicos son una fuente de información geográfica para representar la realidad sonora en una zona determinada, su principal función es analizar los niveles de ruido existentes y proporcionar información acerca de las fuentes sonoras causantes de la contaminación acústica. Estos suelen

consistir en el cálculo de una media de los diferentes niveles de ruido registrados a lo largo del tiempo en los puntos de medida, para obtener un nivel sonoro continuo equivalente (L_{Aeq}). Este valor equivalente identifica el nivel de un hipotético sonido continuo en el mismo intervalo de tiempo de referencia. Los mapas acústicos contienen resultados de las mediciones, análisis de los niveles de ruido e identificación de la naturaleza de las fuentes sonoras que los producen y un diagnóstico de la situación en general y también para cada una de las áreas determinadas.

Existen dos formas de hacer un mapa acústico:

1. Por muestreo

A través de la técnica acústimétrica de digitalización espacial mediante el uso de sonómetros. Es la técnica que se ha venido utilizando habitualmente a la hora de estudiar la contaminación acústica de grandes áreas o núcleos urbanos. La metodología se basa en una campaña de mediciones directas del ruido de no menos de un año de duración.

2. Por simulación

Actualmente, se utilizan técnicas de simulación basadas en el cálculo, que acortan la duración del proceso de obtención de datos y abaratan su coste, además de introducir como ventaja fundamental la posibilidad de valorar qué parte del sonido captado procede directamente de la fuente y qué parte procede de las diferentes reflexiones acústicas del entorno. Estas nuevas técnicas de simulación son posibles gracias al aumento de la capacidad de los sistemas computacionales, a la comprensión y normalización internacional de las diferentes formas que una fuente puede generar un sonido, al entendimiento de los efectos de la propagación del sonido por los diferentes medios y materiales, y a la estandarización de los modelos de cálculo. A través del uso de estos simuladores, podemos llegar a predecir los niveles de ruido que se dan en un cualquier escenario acústico imaginable presente o futuro.

La aplicación de metodologías de cálculo permite diferenciar las fuentes de ruido y conocer en qué medida cada una de ellas contribuye al nivel sonoro en cada zona de un núcleo urbano. De esta forma es posible comparar la relevancia de cada fuente en la contaminación acústica de la ciudad e identificar las variables sobre las que se puede actuar para reducir el impacto de cada una de ellas.

En este estudio, se ha realizado un mapa de ruido del tráfico del municipio de “El Perelló” por simulación utilizando el programa Bruel & Kjaer Predictor v7.10.

5 REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS *IN SITU*

5.1 METODOLOGIA

El primer paso a la hora de realizar un estudio de contaminación acústica es estudiar el entorno a tratar e identificar los principales focos de ruido como son las carreteras con un tráfico elevado que atraviesan la población, en este estudio será la carretera comarcal CV-500. Y también los edificios que requieren especial protección contra la contaminación acústica, como son el colegio de primaria e infantil y el centro de salud de la población.

El segundo paso, es elegir el número y localización de los puntos donde realizaremos las medidas. Con intención de abarcar todo el municipio de la mejor manera posible y teniendo en cuenta los puntos con mayor influencia de tráfico se han elegido 23 puntos de medida para evaluar la contaminación acústica, en los que se incluyen nueve puntos en la carretera CV-500 que es el foco principal de ruido y el resto de puntos repartidos dentro del casco urbano incluyendo puntos cerca del centro de salud y el colegio.

A continuación se muestra sobre el mapa la localización de los puntos de medida, y también algunas fotos tomadas durante la medición con su respectiva descripción indicando el punto y su localización.



Figura 4. Mapa de El Perelló con los puntos de medida seleccionados. Fuente Google Maps.



Figura 5. Punto 2: CV-500



Figura 6. Punto 3: CV-500



Figura 7. Punto 7: CV-500



Figura 8. Punto 8: CV-500



Figura 9. Punto 11: Av. Del Pantà



Figura 10. Punto 12: Av. Del Pantà



Figura 11. Punto 13: Vía sucronense



Figura 12. Punto 14: Vía sucronense



Figura 13. Punto 17: d'Issac Peral



Figura 14. Punto 18: De Narcis Monturiol

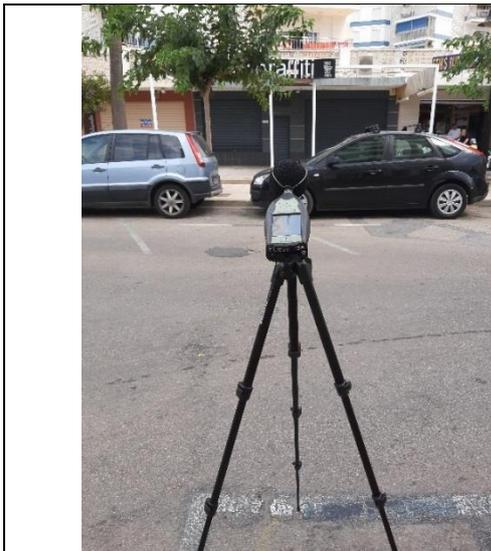


Figura 15. Punto 20: d'Issac Peral



Figura 16. Punto 21: d'Issac Peral



Figura 17. Punto 22: Roger de Lúria



Figura 18. Punto 23: Roger de Lúria

5.2 INSTRUMENTACION Y CONDICIONES DE MEDIDA

Para realizar las medidas se utilizó un sonómetro integrador Clase 1, de la marca Brüel & Kjaer, modelo 2250 Light junto con su equipamiento:

- Calibrador Clase 1 Brüel & Kjaer de 94dB a 1kHz, modelo 4231
- Micrófono polarizado ½" Brüel & Kjaer , tipo 4950
- Pantalla anti-viento Brüel & Kjaer
- Trípode
- Anemómetro, para medir las condiciones meteorológicas (temperatura, velocidad del viento y humedad relativa).

La configuración del sonómetro en las mediciones ha sido la siguiente:

- Modo: Sonómetro.
- Tiempo de medida 10 minutos.
- Ponderación AC para banda ancha y C para picos.
- Corrección por pantalla anti-viento como indica la ley.
- Modo de respuesta: Fast, como indica la ley.
- Obtención de percentiles, para poder realizar el cálculo de incertidumbres.

En este proyecto se han realizado las medidas de acuerdo con la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana, teniendo siempre en cuenta en cada punto:

- Registrar la temperatura, humedad relativa ambiental y velocidad del viento en cada medida. Si las condiciones climatológicas son desfavorables no se realizarán las medidas.
- El micrófono se protegerá con la pantalla anti-viento para minimizar el efecto del viento.
- Situar el micrófono a una altura de 1,5 metros del suelo y manteniendo una distancia de 2 metros de la fachada.
- Antes y después de realizar las medidas el sonómetro será revisado y calibrado.

5.3 PROCEDIMIENTO REALIZADO EN LAS MEDIDAS

Se realizaron las medidas dentro del periodo diurno entre las 8:00h y las 14:00h, cumpliendo así dentro del horario diurno de la normativa del estado y la de la Comunidad Valenciana.

Se realizaron tres medidas de diez minutos en cada punto escogido, una medida al día en cada punto a la misma hora, es decir, se numeraron los puntos escogidos y se siguió el mismo orden cada día empezando a la misma hora. Finalmente se obtuvo una media en cada punto entre las tres medidas realizadas en tres días distintos.

Durante esos diez minutos en cada punto se analizó el tráfico que circulaba, contando vehículos ligeros y vehículos pesados, considerando pesados aquellos que superan los 3.500 kg de peso.

6 RESULTADOS DE LAS MEDIDAS *IN SITU*

6.1 CAUDAL DE VEHICULOS

En este apartado se muestra una tabla del tráfico analizado durante las medidas realizadas, esto nos sirve para tener en cuenta la cantidad de tráfico existente en cada punto.

PUNTOS	REFERENCIA	VEHICULOS LIGEROS (Ql/h)	VEHICULOS PESADOS (Qp/h)	DESCRIPCION
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Carretera comarcal CV-500	612	4	Principal foco de contaminación acústica por esta carretera circula la mayor parte del tráfico
10	Vía Sucronense	384	0	En este punto se junta su propio tráfico más los que salen por la Av. Del Pantá
11 12	Av. Del Pantá	42	0	Poco transitada, solo vecinos que van al puerto o viven cerca
13 14 15 16	Vía Sucronense	360	0	Es una calle muy transitada, en la que se encuentra el ayuntamiento y el centro de salud, y por la cual se sale hacia la CV-500
17	C/ d'Issac Peral	276	0	Punto muy céntrico en una rotonda
18 19	Av. De Narcis Monturiol	312	0	Calle central por donde entra gran parte del tráfico a la población
20 21	C/ d'Issac Peral	240	0	Calle central por la cual sale parte del tráfico de la población
22 23	Av. Roger de Llúria	276	0	Calle de doble sentido bastante transitada donde se localiza el colegio

Tabla 4. Caudal de vehículos en los diferentes puntos de medida

6.2 NIVEL SONORO EQUIVALENTE

En la tabla 5 se mostrara los resultados de los niveles sonoros equivalentes (L_{Aeq}) en el periodo diurno, tanto de las tres mediciones como el promedio.

PUNTOS	L_{Aeq} dia 1 (dBA)	L_{Aeq} dia 2 (dBA)	L_{Aeq} dia 3 (dBA)	L_{Aeq} Promedio (dBA)
1	67,1	69,2	70,9	69,1
2	67,6	68,8	68,6	68,3
3	67,6	67,0	70,0	68,2
4	68,9	68,5	69,6	69,0
5	68,3	68,4	69,6	68,7
6	67,9	70,3	69,1	69,1
7	68,8	68,0	71,2	69,3
8	68,7	69,1	71,3	69,7
9	70,6	72,9	71,7	71,7
10	61,9	61,6	60,5	61,3
11	55,9	54,6	53,1	54,5
12	56,5	52,5	55,3	54,8
13	67,3	60,0	63,8	63,7
14	57,2	57,4	56,7	57,1
15	66,4	57,6	57,9	60,7
16	60,1	59,8	62,0	60,6
17	58,2	59,7	65,8	61,2
18	62,6	64,1	63,5	63,4
19	61,7	63,0	63,8	62,9
20	59,5	60,5	61,3	60,4
21	68,5	62,9	63,3	64,9
22	66,9	61,0	62,8	63,6
23	61,4	59,2	63,4	61,3

Tabla 5. Resultado obtenido en las muestras medidas con el sonómetro y su promedio

7 CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES EN LAS MEDIDAS

A la hora de expresar el resultado de una medición de una magnitud física, es obligado dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de forma que quienes utilizan dicho resultado puedan evaluar su idoneidad. Sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con otros valores de referencia dados en especificaciones o normas. Por ello es necesario establecer un procedimiento fácilmente comprensible y aceptado universalmente para caracterizar la calidad del resultado de una medición.

La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de la medición, que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a la magnitud medida. La expresión del resultado de una medición sólo está completa cuando contiene tanto el valor atribuido a la medida como la incertidumbre de medida asociado a dicho valor.

El resultado de una medición (tras su corrección) puede estar, sin saberlo, muy próximo al valor del mensurando (y, en consecuencia, tener un error despreciable) aunque tenga una incertidumbre elevada. Es por esto por lo que la incertidumbre del resultado de una medición no debe confundirse jamás con el error residual desconocido.

Existe la GUM (Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement), que establece una serie de normas generales para la evaluación y expresión de la incertidumbre de medida que pueden aplicarse en la mayoría de campos de mediciones físicas. En este proyecto se seguirá la normativa UNE EN ISO 1996-2 que se basa en la GUM.

La Norma ISO 1996 bajo el título general Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental, tiene dos partes. En la parte 1 se describen las magnitudes básicas y métodos de evaluación del ruido medioambiental y la parte 2 se centra en la determinación de niveles de presión acústica y su incertidumbre asociada.

Actualmente la evaluación de la molestia producida por el ruido a largo plazo parece llevarse a cabo mejor adoptando el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A corregido. Basándose en estos niveles de evaluación se puede estimar la respuesta sobre la población a largo plazo.

La incertidumbre depende de la fuente sonora, las condiciones de operación, el intervalo de tiempo de medida, las condiciones climatológicas, la distancia a la fuente sonora, el método de medida, la instrumentación y el sonido residual. Entre los cuales la desviación del resultado en una medida se debe principalmente a los siguientes cuatro factores:

- Instrumentación empleada.
- Condiciones de funcionamiento.
- Condiciones meteorológicas y del suelo.
- Sonido residual.

Finalmente, la incertidumbre en la medida se expresa como una incertidumbre expandida basada en una combinación de incertidumbres estándar multiplicada por un factor de cobertura de 2, proporcionando una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Incertidumbre estándar (dB)				Incertidumbre estándar combinada α_t (dB)	Incertidumbre de la medida expandida (dB)
Instrumentación	Condiciones de operación	Clima y suelo	Sonido residual		
W	X	Y	Z	$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2 + W^2}$	$\pm 2 \sigma_t$

Tabla 6. Incertidumbre de la medida del L_{Aeq} según la ISO 1996-2.

7.1 INCERTIDUMBRE EN LA INSTRUMENTACION

La incertidumbre basada en la instrumentación es de las más influyentes, y están directamente relacionadas con el correcto funcionamiento del equipo y su calibración.

A continuación se explica la operación para obtener la incertidumbre de instrumentación (W) y todas sus variables.

$$W = \delta_{PFE} + \delta_{PFA} + \delta_{LS} + \delta_{RMS} + \delta_{PT} + \delta_{CA} + \delta_{CC} + \delta_{ES} + \delta_{TS} + \delta_{PS}$$

- δ_{PFE} : Representa la corrección de calibración eléctrica del nivel de presión sonora con ponderación A.

$$u(\delta_{PFE}) = \frac{U_E}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB}$$

Donde U_E es la incertidumbre expandida certificada y $K_n = 2$ indica una probabilidad de encontrar un valor verdadero de la magnitud en el intervalo señalado por la incertidumbre ampliada del 95,45% de la componente de la incertidumbre estándar.

- δ_{PFA} : Representa la corrección de calibración acústica del nivel de presión sonora con ponderación A.

$$u(\delta_{PFA}) = \frac{U_E}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB}$$

δ_{PFA} Y δ_{PFE} están íntimamente relacionados, su cálculo y variables son iguales.

- δ_{LS} : Representa la corrección asociada con la linealidad del sonómetro en su rango de referencia.

$$u(\delta_{LS}) = \sigma_L = 0.011 \text{ dB}$$

- δ_{RMS} : Representa la corrección asociada con detector RMS del sonómetro evaluada eléctricamente. Se calcula a partir de la desviación típica de las desviaciones en dB de la precisión del detector RMS.

$$u(\delta_{RMS}) = \sigma_R = 0.055 \text{ dB}$$

- δ_{PT} : Representa la corrección asociada con la función de ponderación temporal.

$$u(\delta_{PT}) \text{ fast o slow} = \frac{\Delta_{PT}}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ dB}$$

Donde $\Delta_{PT} = 0.1$ representa la máxima de las desviaciones constantes temporales. En este caso la Slow es la más restrictiva.

- δ_{CA} : Representa la corrección asociada con el ajuste inicial del sonómetro utilizando un calibrador acústico. La corrección δ_{CA} tendrá un valor nulo pero su incerteza será debida a la propia resolución del sonómetro.

$$u(\delta_{CA}) = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0288 \text{ dB}$$

Donde E_S es la resolución del sonómetro o lo que es lo mismo el dígito menos significativo.

- δ_{CC} : Representa la corrección de utilización del calibrador acústico sobre su valor certificado. El valor del nivel de presión sonora generado por el calibrador no es el que tenemos certificado porque las condiciones ambientales en las que lo estamos utilizando pueden ser distintas a las de calibración y además su valor deriva con el tiempo. Por lo tanto, la corrección δ_{CC} modela este hecho y su incertidumbre asociada será la incertidumbre de uso del calibrador.

$$u(\delta_{CC}) = \frac{U_C}{K_n} = \frac{\pm 0.11}{2} = \pm 0.055 \text{ dB}$$

Donde U_C es la incertidumbre expandida de uso del calibrador.

- δ_{ES} : Representa la corrección asociada a la resolución finita del valor de la indicación del sonómetro.

$$u(\delta_{ES}) = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.00288 \text{ dB}$$

Donde δ_{ES} es la resolución del sonómetro (dígito menos significativo), cuando volcamos los datos.

- δ_{TS} : Representa la corrección asociada con la influencia de las variaciones de temperatura.

$$u(\delta_{TS}) = \frac{\alpha_M \cdot \Delta_T}{\sqrt{3}} = \frac{0.015 \cdot (23^\circ\text{C} - T_M)}{\sqrt{3}} = 0.026 \text{ dB}$$

Donde α_M es el coeficiente de variación con la temperatura y el incremento de temperatura Δ_T es 23°C menos T_M que es la temperatura en grados Celsius en el momento de la medida.

- δ_{PS} : Representa la corrección asociada con la influencia de las variaciones de la presión atmosférica.

$$u(\delta_{PS}) = \frac{\gamma_M \cdot \Delta_p}{\sqrt{3}} = \frac{0.019 \cdot (1013 \text{ hPa} - P_M)}{\sqrt{3}} = 0.022 \text{ dB}$$

Donde γ_M es el coeficiente de variación de la presión ponderado en frecuencia y el incremento de la presión Δ_p es 1013 hPa menos P_M que es la presión atmosférica de medida.

Con los cálculos realizados y haciendo la suma de todos los parámetros obtenemos la incertidumbre debida a la instrumentación.

$$W = \delta_{PFE} + \delta_{PFA} + \delta_{LS} + \delta_{RMS} + \delta_{PT} + \delta_{CA} + \delta_{CC} + \delta_{ES} + \delta_{TS} + \delta_{PS}$$

$$W \text{ (dB)} = 0.075 + 0.075 + 0.011 + 0.055 + 0.0577 + 0.0288 + 0.055 + 0.0028 + 0.026 + 0.022 = \mathbf{0.4083 \text{ dB}}$$

7.2 INCERCTIDUMBRE EN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

Se han realizado de tres medidas usando siempre el mismo procedimiento de medida, mismos equipos e instrumental y midiendo siempre en el mismo lugar. Todo esto se ha cumplido en la realización de este proyecto.

A continuación se calcula la incertidumbre estándar X para tráfico rodado.

$$X = \frac{10}{\sqrt{n}} dB$$

Donde n es el número de vehículos que circulan en una hora, con referencia a todo el tráfico tanto vehículos ligeros como pesados.

En la siguiente tabla se muestran las incertezas debidas a las causas de operación para cada punto.

PUNTOS	INCERCTIDUMBRE EN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN $X = \frac{10}{\sqrt{n}} dB$
1	0.4
2	0.4
3	0.4
4	0.4
5	0.4
6	0.4
7	0.4
8	0.4
9	0.4
10	0.51
11	1.54
12	1.54
13	0.52
14	0.52
15	0.52
16	0.52
17	0.6
18	0.56
19	0.56
20	0.64
21	0.64
22	0.6
23	0.6

Tabla 7. Incertidumbre debida a las condiciones de operación

7.3 INCERCTIDUMBRE SEGÚN EL CLIMA Y EL SUELO

La incertidumbre según el clima y el suelo, depende por un lado de la distancia de medida entre la fuente y receptor y el tipo de terreno, y por otro lado de las condiciones meteorológicas.

Las variaciones en las condiciones del suelo dependen de la superficie del terreno y en la distancia de medición. En este estudio para una superficie de terreno duro (asfalto) y una distancia efectiva entre la fuente y receptor de menos de 25 metros se estima una incertidumbre de **Y = 0.5 dB** en todos los puntos.

Las variaciones según el clima pueden darse por los siguientes factores:

- **Viento:** El viento a través del micrófono produce mucho ruido extraño. Para reducir este ruido, se debe utilizar siempre sobre el micrófono una pantalla anti-viento especial, generalmente consistente en una bola de espuma porosa. Si la velocidad del viento se estimara alrededor de 1.6 m/s se empleará dicha pantalla anti-viento, pero si son superiores a 5 m/s se desistirá de realizar las mediciones.
- **Humedad:** Principalmente puede afectar a los micrófonos y sobre todo a los de tipo condensador, si la humedad relativa es alta. Se deberá proteger de la lluvia, para impedir la entrada directa de agua por el micrófono, que produciría un funcionamiento intermitente y rotura.
- **Temperatura:** Los sonómetros trabajan en una alta gama de temperaturas, sin embargo hay que evitar los cambios bruscos de temperatura que pueden llegar a una condensación del micrófono, y al igual que en el apartado anterior son los de tipo condensación los que más se pueden ver influenciados.
- **Presión atmosférica:** La respuesta no se suele ver afectada significativamente por los cambios ordinarios de la presión atmosférica, y sobre todo si es a nivel del mar. Pero a grandes alturas la sensibilidad se puede ver algo afectada, especialmente a altas frecuencias, que ser tenida en cuenta utilizando para su corrección los datos que aporta el fabricante del micrófono.

En este estudio las condiciones meteorológicas han sido favorables durante la toma de medidas en cada punto.

Respecto al viento fue necesario la utilización de una pantalla anti-viento debido a que había rachas de viento alrededor de 3 m/s. La temperatura registrada fue entre 15-23 °C . La humedad no fue un problema, no llovió durante la medición, y la presión atmosférica tampoco lo fue debido a que las medidas se tomaron a nivel del mar.

7.4 INCERCTIDUMBRE DEBIDO AL SONIDO RESIDUAL

Para obtener la incertidumbre del sonido residual hay dos maneras:

- Midiendo el ruido de fondo en cada uno de los puntos.
- Tomar como sonido residual el percentil más alto de las medidas L_{A99} .

En este estudio lo obtendremos a partir de unos cálculos utilizando el percentil más alto de las medidas L_{A99} .

El primer paso es comprobar si la diferencia entre el nivel de presión sonora residual y nivel de presión sonora medido es mayor de 10 dB o menor de 3 dB. Si es así, no debe hacerse ninguna corrección. Por el contrario, cuando la diferencia oscila entre 3 dB y 10 dB, se aplica la siguiente corrección:

$$L_{\text{corregida}} = 10 \log\left(10^{\frac{L_{\text{medida}}}{10}} - 10^{\frac{L_{\text{residual}}}{10}}\right) \text{ dB}$$

El segundo paso es calcular la sensibilidad residual C_r :

$$C_r = \frac{10^{\frac{L_{\text{residual}}}{10}}}{10^{\frac{L}{10}} - 10^{\frac{L_{\text{residual}}}{10}}}$$

A continuación, se calcula la incertidumbre del nivel sonoro residual Z_r :

$$Z_r = \sqrt{\sigma_s^2 - \sigma_0^2}$$

Donde σ_s es la incertidumbre del nivel sonoro específico y σ_0 la incertidumbre del nivel sonoro total medido actual.

Finalmente, se define como el valor de incertidumbre del nivel sonoro residual como la combinación del nivel total y el sonido residual. Por lo que tenemos que la incertidumbre responde a esta ecuación:

$$Z = C_r \cdot Z_r$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la incertidumbre del sonido residual.

PUNTOS	INCERTIDUMBRE DEBIDO AL SONIDO RESIDUAL		
	$Z = C_r \cdot Z_r$		
	C_r	Z_r	$C_r \cdot Z_r$
1	0,01	1,54	0,0105
2	0,01	1,54	0,0107
3	0,01	1,54	0,0180
4	0,02	1,54	0,0303
5	0,02	1,54	0,0311
6	0,01	1,54	0,0201
7	0,03	1,54	0,0414
8	0,01	1,54	0,0162
9	0,01	1,54	0,0128
10	0,05	1,54	0,0840
11	0,62	1,54	0,9525
12	0,16	1,54	0,2392
13	0,01	1,54	0,0227
14	0,16	1,54	0,2478
15	0,05	1,54	0,0753
16	0,07	1,54	0,1052
17	0,09	1,54	0,1415
18	0,05	1,54	0,0746
19	0,06	1,54	0,0907
20	0,07	1,54	0,1011
21	0,03	1,54	0,0484
22	0,03	1,54	0,0389
23	0,04	1,54	0,0584

Tabla 8. Incertidumbre debida al sonido residual

7.5 INCERCTIDUMBRE ESTÁNDAR COMBINADA Y EXPANDIDA

A partir de las incertezas parciales calculadas anteriormente, podemos calcular la incerteza típica combinada en dB con la siguiente expresión:

$$\sigma_t(dB) = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2 + W^2}$$

Una vez obtenida la incertidumbre combinada, podemos obtener la incertidumbre expandida multiplicando su valor por 2. Por lo tanto:

$$\pm 2 \sigma_t(dB)$$

A continuación se mostrara primero una tabla con los resultados obtenidos en la incertidumbre combinada y expandida.

PUNTOS	INCERCTIDUMBRE COMBINADA $\sigma_t(dB) = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2 + W^2}$	INCERCTIDUMBRE EXPANDIDA $\pm 2 \cdot \sigma_t(dB)$
1	0,64	1,28
2	0,64	1,28
3	0,64	1,28
4	0,64	1,28
5	0,64	1,28
6	0,64	1,28
7	0,64	1,28
8	0,64	1,28
9	0,64	1,28
10	0,72	1,44
11	1,88	3,76
12	1,64	3,27
13	0,72	1,45
14	0,76	1,53
15	0,73	1,45
16	0,73	1,46
17	0,79	1,59
18	0,76	1,51
19	0,76	1,51
20	0,82	1,64
21	0,81	1,63
22	0,78	1,57
23	0,78	1,57

Tabla 9. Incertidumbre combinada y expandida.

7.6 INCERTIDUMBRE TOTAL EN CADA PUNTO

Finalmente se muestra una tabla con los niveles de ruido (L_{Aeq}) junto con su incertidumbre expandida asociada, observando así mejor la incerteza en cada punto.

PUNTOS	PROMEDIO $L_{Aeq} \pm$ INCERTIDUMBRE
1	69,1 \pm 1,3
2	68,3 \pm 1,3
3	68,2 \pm 1,3
4	69,0 \pm 1,3
5	68,7 \pm 1,3
6	69,1 \pm 1,3
7	69,3 \pm 1,3
8	69,7 \pm 1,3
9	71,7 \pm 1,3
10	61,3 \pm 1,4
11	54,5 \pm 3,8
12	54,8 \pm 3,3
13	63,7 \pm 1,4
14	57,1 \pm 1,5
15	60,7 \pm 1,5
16	60,6 \pm 1,5
17	61,2 \pm 1,6
18	63,4 \pm 1,5
19	62,9 \pm 1,5
20	60,4 \pm 1,6
21	64,9 \pm 1,6
22	63,6 \pm 1,6
23	61,3 \pm 1,6

Tabla 10. Niveles de ruido con incertidumbre asociada

8 SIMULACIÓN MEDIANTE PREDICTOR

El software Predictor de Bruel&Kjaer es una excelente herramienta para poder predecir niveles de presión sonora. Ofrece muy buena funcionalidad para la gestión y planificación del ruido. Nos permite realizar diferentes modelos distintos y visualizarlos tanto pre-operacional (situación en la que se encuentra la zona) como a posteriori post-operacional (añadiendo un edificio, un parque, una carretera, etc.) y que resultados obtenemos si aplicamos medidas como barreras acústicas u otros elementos.

Es un programa muy potente que nos calcula el nivel de ruido desde distintas fuentes sonoras, diferentes vías de circulación con diferentes niveles de tráfico y además tiene en cuenta la altura de los edificios, tipo de suelo y obstáculos. También se adapta a de distintas normas tanto nacionales como internacionales.

8.1 NORMAS DE PREDICCIÓN

Este programa se puede configurar en diferentes normas para obtener distintos resultados o para aplicar la norma más conveniente en cada caso. Estas son las distintas normas y métodos de predicción de nivel de presión sonora con las que se puede trabajar con Predictor:

- ISO 9613.1/2 (Internacional - Método de propagación del ruido en exteriores).
- DAL 32 (Método nórdico de ruido industrial).
- XPS/NMPB (Método francés de ruido de tráfico).
- XPS-FER (Método francés de ruido ferroviario).
- CRTN (Método británico (UK) y Nueva Zelanda para ruido de tráfico).
- RMR/SRM2 (Método holandés de ruido ferroviario).
- Harmonoise (Método armonizado europeo para ruido de tráfico y ferroviario).

Según la Ley estatal de ruido 37/2003 y su correspondiente Real Decreto 1513/2005, se indica que los métodos recomendados para la predicción son:

- Ruido del tráfico rodado: el método utilizado será XPS 31-133/NMPB (Método francés de ruido de tráfico).
- Ruido industrial: ISO 9613-2 (Internacional - Método de propagación del ruido en exteriores).

Por tanto, se utilizara para predecir el ruido del tráfico rodado, el método nacional de cálculo francés XPS 31-133/NMPB.

➤ **EL método francés XPS 31-133/NMPB.**

Para calcular el tráfico utilizando este método es necesario tener en cuenta y añadir al programa los siguientes parámetros:

- Densidad de tráfico de vehículos ligeros (Ql/h).
- Densidad de tráfico de vehículos pesados (Qp/h).
- Velocidad de la vía o carretera a la que circulan los vehículos.

La parte del cálculo que requiere más tiempo es la propagación. Predictor crea intersecciones en todas las combinaciones de segmentos receptor-fuente, tanto para la trayectoria de propagación directa, como para todas las posibles trayectorias de reflexión (por la reflexión en objetos como edificios y barreras). El programa determina todas las distancias y alturas de los objetos en las intersecciones y las desviaciones verticales en los objetos de apantallamiento. La atenuación y las correcciones se calculan a partir de las intersecciones y desviaciones

➤ **EL método internacional ISO 9613-2**

Para la propagación de ruido en exteriores se revisan los posibles caminos de propagación entre cada fuente y receptor (camino directo, reflejado o difractado). Para cada camino de propagación se determinan parámetros de divergencia geométrica, absorción atmosférica, absorción del suelo, factor de difracción, y las reflexiones que influyan en el nivel.

8.2 IMPORTACION DEL MAPA AL PREDICTOR

El mapa que se usará como base para la simulación, puede importarse desde una gran variedad de diferentes formatos (*.bmp, *.jpg, *.wmf, *.gif, *.png, *.tif, *.tga, *.psp, *.ppm, *.pcx, *.dbv, *.shp, *.mif, *.DXF, *.DWG).

En este estudio se obtuvo una imagen recortada del Google Maps, con el formato *.jpg, la cual medimos la distancia para intentar ajustarla en las coordenadas 0,0.

Con la imagen de la población de fondo, podemos conocer las líneas que delimitan cada calle, edificio, parque, etc. De manera que encima de cada elemento introduciremos el objeto correspondiente junto con sus datos que sean necesarios como la altura, índice de absorción o por ejemplo en las carreteras su caudal de vehículos. A continuación se explica más detalladamente la introducción de los parámetros.

8.3 INTRODUCCION DE DATOS EN EL PREDICTOR

Una vez creado el proyecto con el predictor eligiendo la norma XPS 31-133/NMPB e importado el mapa, procedemos a dibujar las carreteras, edificios, zonas verdes, receptores y finalmente la malla o rejilla de cálculo.

Mediante la utilización de esta barra de herramientas:



Figura 19. Barra herramientas para introducir objetos

Primero seleccionaremos edificio a edificio, situándolos en el mapa y envolviéndolos en un recuadro gris. Además también introduciremos las alturas de los edificios, ya que estas serán importantes para una correcta simulación.

Después colocaremos los Ground Region para diferenciar entre zonas verdes y zonas de pavimento ya que las primeras tendrán un índice de absorción de 1, mientras que las zonas de pavimento y las carreteras tienen un índice de absorción de 0. Así pues, elegiremos las zonas verdes de la misma forma que hemos elegido los edificios y aparecerá una rejilla de color verde encima de la zona seleccionada. Para poder diferenciar entre zona verde o zona de suelos duros, abriremos el menú contextual de cada región de suelo (Ground Region) y dentro de sus propiedades cambiaremos el índice de reflexión de este (G) siendo 0 para suelos duros y 1 para vegetación, que suele ser absorbente.

Por otra parte, marcaremos las carreteras, trazando una sola recta para los dos carriles. Tendremos que tener en cuenta que habrá que indicar las velocidades máximas y el caudal/hora de vehículos tanto ligeros como pesados que circularán por la carretera en cuestión. Introduciremos estos datos de las medidas realizadas previamente con el sonómetro y del aforo que se hizo del caudal de vehículos en el transcurso de las medidas. Para poder situar los datos de los caudales correctamente, al ser todas las medidas relacionadas con la misma carretera, se habrá de realizar un promedio de todos los caudales observados en todas las medidas de esa vía o calle.

También, colocaremos los receptores en el programa de simulación allí donde se realizaron las medidas originalmente a una altura de 1.5 metros. Esto se hace para comprobar si los valores medidos en los receptores del programa de simulación corresponden a los valores medidos *in situ* con el sonómetro. Si las medidas éstas son similares del orden de ± 3 dB, el modelo de simulación estará validado.



Figura 21. Mapa 2D

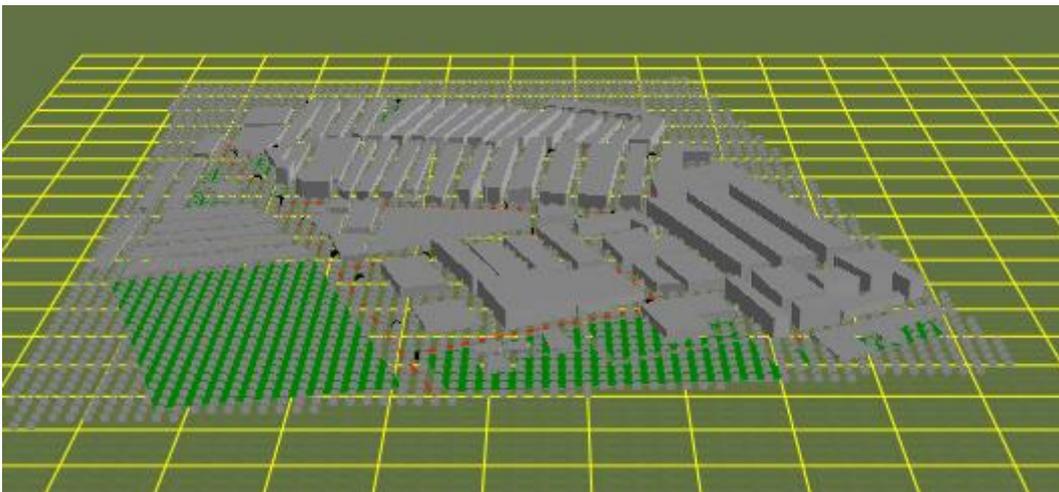


Figura 22. Mapa 3D, comprobación visual de la altura de los edificios

8.4 SIMULACIÓN

Con todos los ajustes realizados, procedemos a la simulación y después del tiempo de ejecución obtenemos el siguiente mapa de colores con los niveles ruidos obtenidos.

Además podemos visualizar los distintos períodos (Día, Tarde, Noche, y L_{den}). Así como modificar la leyenda, añadir o quitar niveles y asignar a cada nivel sonoro su color.

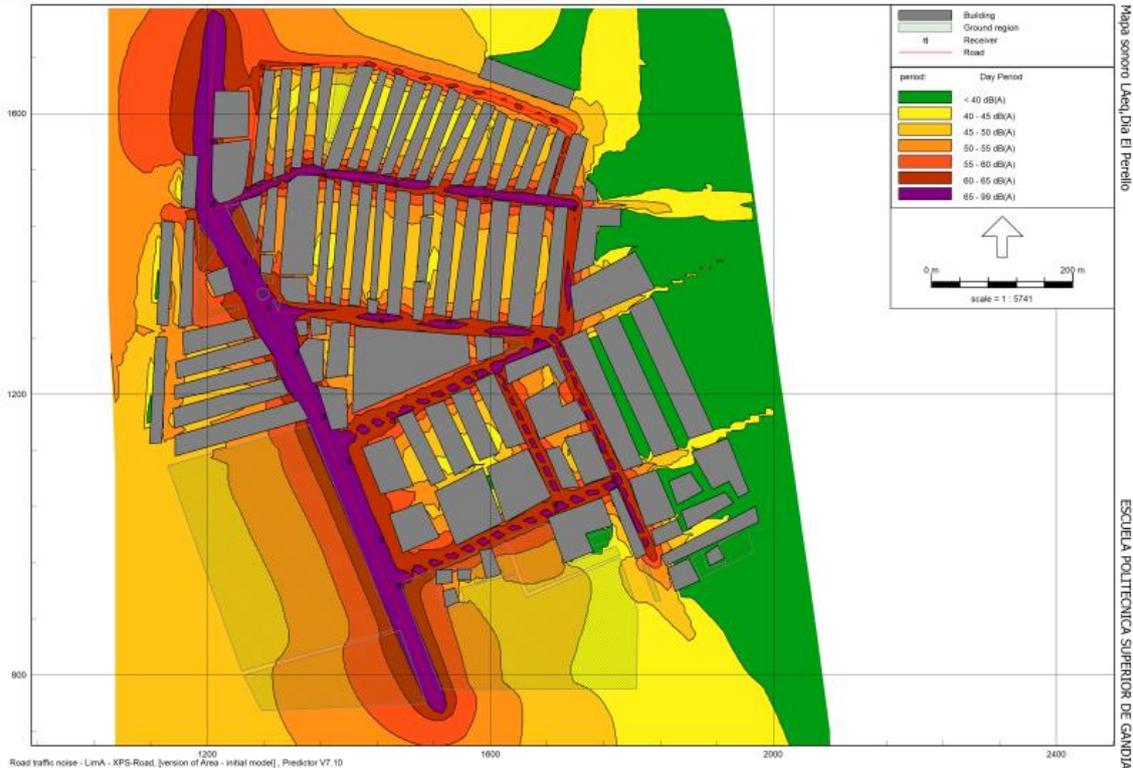


Figura 23. Mapa de colores según los niveles sonoros en el período diurno

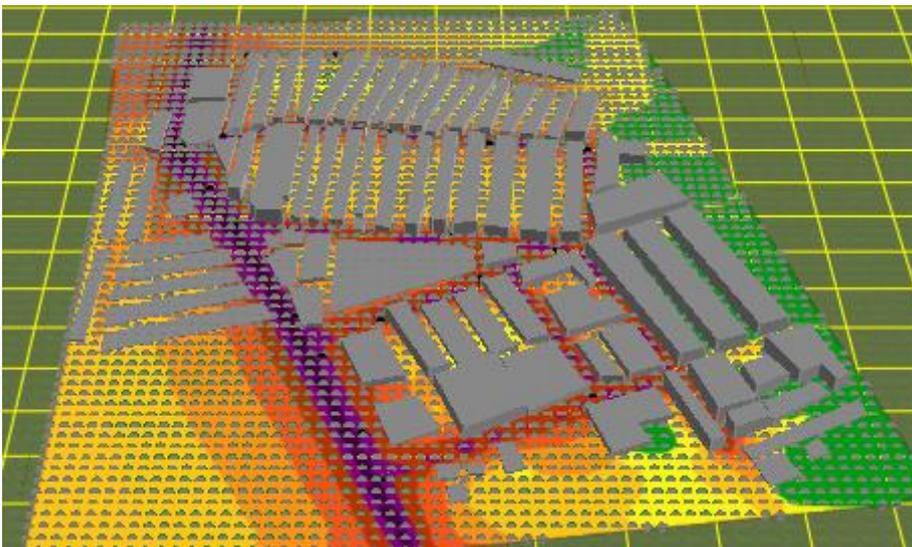


Figura 24. Mapa acústico en donde se muestran los LAeq diurnos en 3D

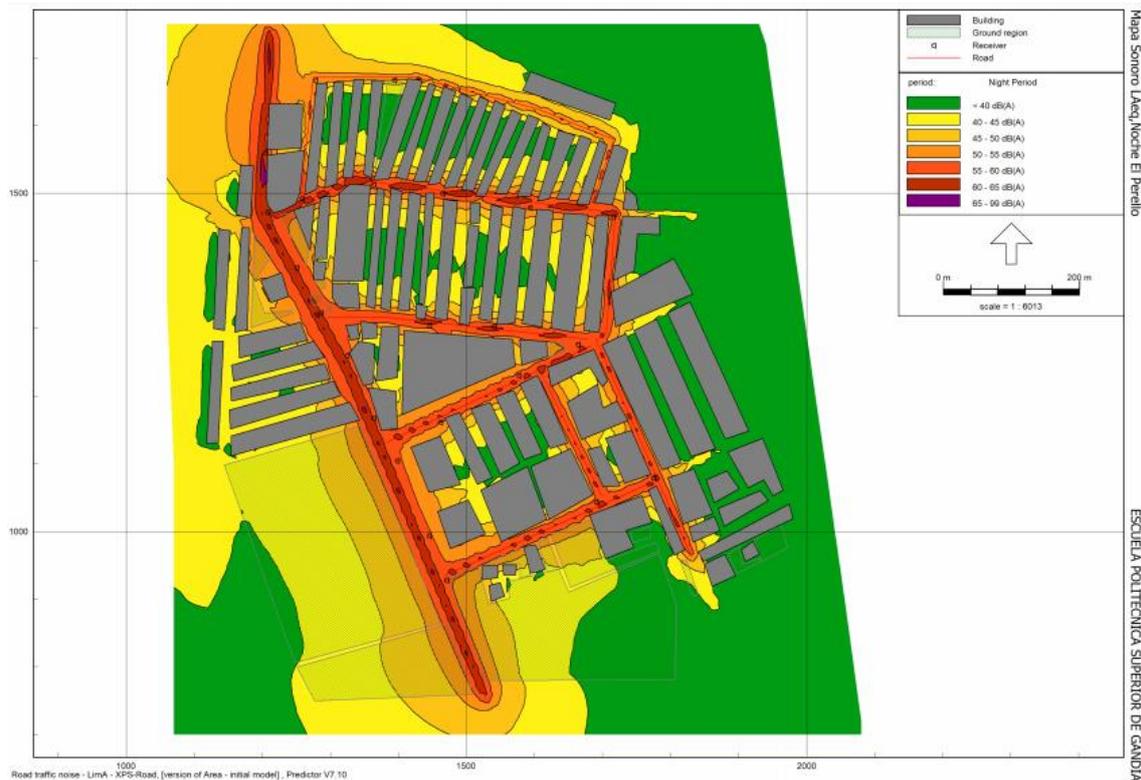


Figura 25. Mapa de colores según los niveles sonoros en el período nocturno

9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

9.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENTRE LO MEDIDO *IN SITU* Y LO SIMULADO

Es necesario comprobar y hacer la comparación entre los resultados obtenidos con el sonómetro *in situ* respecto los resultados obtenidos mediante simulación, para poder validar el modelo y demostrar que los resultados obtenidos son coherentes.

Los resultados obtenidos se consideran coherentes calculando su diferencia, para el período diurno la diferencia debe ser del orden de 3 dBA.

A continuación en la Tabla 11, se puede observar la diferencia en cada punto.

PUNTOS	Medidas <i>in situ</i> (dBA)	Simulación (dBA)	Diferencia (dBA)
1	69,1	66.6	2.5
2	68,3	65.8	2.5
3	68,2	66.1	2.1
4	69,0	68.8	0.2
5	68,7	68.6	0.1
6	69,1	69.7	0.6
7	69,3	68.8	0.5
8	69,7	69.4	0.3
9	71,7	69.8	1.9
10	61,3	65.6	4.3
11	54,5	61	6.5
12	54,8	56.8	2.1
13	63,7	67.5	3.8
14	58,4	65.5	7.1
15	60,7	63.5	2.8
16	60,6	63.6	3
17	61,2	63.7	2.5
18	63,4	64.5	1.1
19	62,9	64.1	1.2
20	60,4	62.3	1.9
21	64,9	63.3	1.6
22	63,6	63.2	0.4
23	61,3	64.2	2.9

Tabla 11. Resultados entre medidas *in situ* y simuladas

Como se puede observar los puntos 10, 11, 13 y 14 superan la diferencia de los 3 dBA.

En el punto 11 se debe a un error del programa debido a la proximidad con la carretera CV-500 porque no ha tenido en cuenta la separación con diferente altura y con el agua que tiene de por medio, como se puede observar en la figura 10.

Los puntos 10, 13 y 14 se encuentran en la misma calle Vía Sucronense, una calle muy transitada tanto por vehículos como por vecinos, en el punto 14 se encuentra el ayuntamiento y el centro de salud, aun así el modelo simulado ha dado resultados mayores a los medidos *in situ*.

9.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMATIVAS

En este apartado vamos a comprobar si se cumplen o no las normativas vigentes, tanto la de ámbito nacional como la de la Comunidad Valenciana verificando así que se cumple la ley.

Recordamos que para el ámbito nacional se debe cumplir la Ley 37/2003 en la cual se exigen los siguientes niveles máximos admisibles en periodo diurno:

- Suelo sanitario y docente 60 dBA.
- Suelo residencial 65 dBA.

En cuanto a la Comunidad Valenciana se debe cumplir la Ley 7/2002 en la cual se exigen los siguientes niveles máximos admisibles en periodo diurno:

- Suelo sanitario y docente 45 dBA.
- Suelo residencial 55 dBA.

Tal como se puede observar a continuación la ley a ámbito nacional es más permisible, en cambio la ley autonómica es más exigente y difícil de cumplir.

PUNTOS	TIPO DE SUELO	PROMEDIO L_{Aeq} (dBA)	CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA	
			ESTATAL	AUTONOMICA
1	Residencial	69,1	NO	NO
2	Residencial	68,3	NO	NO
3	Residencial	68,2	NO	NO
4	Residencial	69,0	NO	NO
5	Residencial	68,7	NO	NO
6	Residencial	69,1	NO	NO
7	Residencial	69,3	NO	NO
8	Residencial	69,7	NO	NO
9	Residencial	71,7	NO	NO
10	Residencial	61,3	SI	NO
11	Residencial	54,5	SI	SI
12	Residencial	54,8	SI	SI
13	Residencial	63,7	SI	NO
14	Sanitario	58,4	SI	NO
15	Residencial	60,7	SI	NO
16	Residencial	60,6	SI	NO
17	Residencial	61,2	SI	NO
18	Residencial	63,4	SI	NO
19	Residencial	62,9	SI	NO
20	Residencial	60,4	SI	NO
21	Residencial	64,9	SI	NO
22	Docente	63,6	NO	NO
23	Residencial	61,3	SI	NO

Tabla 12. Verificación de las normativas

10. CONCLUSIONES

La primera conclusión que podemos extraer observando los resultados obtenidos en la tabla 12, para comprobar el cumplimiento de la normativa, es que no se cumple con la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana superando los máximos admisibles salvo en los puntos 11 y 12 que es la zona más tranquila situada en la Av. Del Pantá donde se encuentra el puerto.

Por otro lado tras comprobar la Ley 37/2003 de ámbito nacional que no es tan estricta, podemos decir que se cumple prácticamente en toda la población, excepto por los primeros nueve puntos que pertenecen a la carretera comarcal CV-500 principal foco de contaminación acústica, y en el punto 22 donde se encuentra el colegio la cual es una calle bastante transitada ya que es de doble sentido, cabe destacar que no cumple la ley en suelo docente por tan solo 3.6 dBA por encima del nivel máximo admisible pero si se encuentra dentro del rango admisible para suelo residencial. Solo reduciendo la velocidad máxima de circulación a 20 km/h por delante del centro docente podría cumplir con la ley.

La segunda conclusión tras la valoración entre los resultados obtenidos medidos *in situ* mediante el sonómetro y los resultados mediante el programa de simulación Predictor son muy similares en toda la población excepto en algún punto pero la diferencia es poco significativa. Cabe destacar que siempre se acerca más a la realidad las medidas tomadas *in situ* pero este método requiere más tiempo y llevar a cabo una campaña de mediciones durante varios días/semanas, en cambio la utilización del programa Predictor nos aporta información muy similar y puede realizarse mucho más rápido, siempre y cuando tengamos conocimiento del número de tráfico tanto ligeros como pesados, límites velocidad, etc.

Esto nos demuestra que el programa Predictor de Bruel & Kjaer es una herramienta muy potente y eficaz para realizar estudios acústicos y predecir los niveles sonoros, intentando siempre introducir todos los datos adecuados para acercarnos lo máximo posible a la realidad. Gracias a este software podemos obtener y predecir más rápidamente los niveles sonoros y visualizar el mapa acústico que nos proporciona.

11 . PLAN DE ACTUACIÓN

El Plan Acústico de Acción Autonómica siguiendo la Ley 7/2002, de protección contra la Contaminación Acústica, tiene por objeto coordinar las actuaciones de las administraciones públicas en sus acciones contra el ruido, fomentar la adopción de medidas para su prevención y la reducción de las emisiones sonoras por encima de los máximos legalmente previstos, concienciar y formar a los ciudadanos y potenciar la investigación e implantación de nuevas tecnologías para conseguir la reducción o eliminación de la contaminación acústica. El cual tendrá el siguiente contenido:

- a) Medidas para la prevención y reducción de la contaminación acústica mediante la investigación y la incorporación de mejoras tecnológicas en las construcciones e instalaciones, en el desarrollo de actividades y en los procesos de producción y productos finales constitutivos de fuentes sonoras.
- b) Programas de concienciación social de los ciudadanos y de formación de empresarios y trabajadores en las acciones contra el ruido.
- c) Medidas correctoras a fin de garantizar los niveles de inmisión previstos en el título II de esta ley.
- d) Medidas de financiación para llevar a cabo dichas actuaciones.
- e) Modelos orientativos de ordenanzas municipales.
- f) Medidas de prevención y reducción de la contaminación acústica del tráfico rodado.

En este estudio queda reflejado en los resultados obtenidos que el problema de contaminación acústica que sufre la población de El Perelló es debida a consecuencia del tráfico generado en la carretera comarcal CV-500 que atraviesa la población.

A continuación se proponen diferentes medidas para la reducción de la contaminación acústica:

- **Modificar los flujos de tráfico en determinadas vías para proteger las áreas más sensibles.**

En concreto la vía Av. Roger de Llúria, es donde se encuentra situado el colegio y esta vía es de doble sentido, si se aplicará la modificación de que solo tuviese un sentido de circulación su tráfico sería reducido al 50% aproximadamente y por tanto se reduciría su nivel sonoro notablemente (del orden de 3 dB) cumpliendo así la ley estatal y estando más cerca del cumplimiento de la ley autonómica.

- **Limitar la velocidad máxima en las vías donde sea conveniente**

Una medida sería limitar la velocidad máxima a 30 km/h en toda la población incluyendo la carretera comarcal CV-500 en el tramo que pasa por dentro la población, esta medida reducirá los niveles máximos sonoros, y además favorecerá la seguridad vial. Por otro lado se podría limitar la velocidad máxima a 20 km/h especialmente en el tramo que circulan por el colegio y el centro de salud, los cuales requieren mayor protección.

- **Utilizar pavimento fonoabsorbente para reducir el ruido del tráfico**

Esta medida podría llevarse a cabo cuando se realicen remodelaciones en las carreteras. Su coste es más elevado, pero se rentabiliza a lo largo del tiempo y nos proporciona una reducción entre 1 y 4 dBA del ruido rodado.

- **Campaña de concienciación a la población**

Consiste en intentar concienciar a la población de la importancia de vivir en ausencia de ruido en un ambiente más silencioso y relajado con el fin de evitar así posibles efectos no deseados a causa de la contaminación acústica.

Esto se podría conseguir con charlas y conferencias en la población o en la página web oficial del ayuntamiento y sus redes sociales como Facebook con artículos relacionados sobre el tema. Para que los ciudadanos puedan conocer el estado de la contaminación acústica en la población y tener conocimiento sobre el tema. De esta manera es más probable que actúen con respecto y tomen conciencia del problema.

- **Otras medidas**

Fomentar medidas de transporte alternativas como la utilización de bicicletas o patines electrónicos con el fin de reducir el tráfico dentro de la población y así los niveles sonoros.

Implantar un sistema de bicicletas por toda la población sería una buena idea, a la que se suman cada vez más poblaciones por sus ventajas, tanto por la reducción de tráfico como también porque es saludable hacer deporte, y sin olvidar que así cuidamos también el medio ambiente.

Otra medida posible es la creación de más zonas verdes que absorban el ruido.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- [2] 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.
- [3] Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- [4] Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Comunidad Valenciana.
- [5] Real Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, por el que se establecen normas de prevención y corrección de las edificaciones, obras y servicios.
- [6] Real Decreto 104/2006, de 14 de julio, de Planificación y Gestión en materia de contaminación acústica.
- [7] Evaluación de datos de medición — Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM-Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, tercera edición en España, 2009).
- [8] Manual del RUIDO - Manuales de diseño ICARO.
- [9] Manual de Usuario - Predictor Tipo 7810.
- [10] Guías para el ruido urbano – Documento de la OMS.
- [11] Norma ISO 1996-2:2007. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental.
- [12] HARRIS C. Manual de medidas acústicas y control del ruido. Ed. Mc Graw Hill, 1995.