



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Revisión del Plan Acústico Municipal de la población de
Favara

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e
Imagen

AUTOR/A: López San Martín, Alejandro

Tutor/a: Martínez Mora, Juan Antonio

Cotutor/a externo: DIEGO TORTOSA, DIDAC

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

RESUMEN

La contaminación acústica, es uno de los fenómenos que más afecta a la población en la actualidad. La continua exposición que sufrimos puede afectarnos tanto a nivel físico como psicológico. A pesar de la gravedad del problema, no empezó a tratarse hasta épocas recientes, lo que aumenta la gravedad, ya que la mayoría de las urbes fueron construidas sin considerar este impacto. Esto provoca que sea común encontrar urbes con calles estrechas, con ausencia de espacios libres o zonas verdes, que sumado a la creciente actividad en los centros urbanos y el aumento de la población, da como resultado que un gran porcentaje de la población se encuentre expuesta a un nivel de ruido demasiado elevado. Actualmente ya se han empezado a tomar medidas para tratar de mitigar el impacto acústico al que la población se encuentra sometida.

En este proyecto, se lleva a cabo un estudio acústico de la población de Favara, dónde gracias a un desvío de la N-332, la variante A-38 inaugurada en septiembre de 2021 se ha eliminado uno de los puntos negros de la red viaria española que afectaba a la N-332. Con esto se consigue reducir drásticamente el tráfico que atravesaba la población. Se estudia el efecto acústico que se origina actualmente en Favara, analizando los niveles sonoros, y aplicando la nueva normativa de medición acústica. Se realizan mapas de ruido de la zona, por medio de una simulación con el software Predictor V2019.3 de SoftNoise, validados con medidas experimentales. Los datos se comparan con resultados obtenidos en 2014, para comprobar la evolución de la zona, donde se observa que ha habido una reducción en los niveles de ruido. Con esta mejora el municipio está cerca de cumplir con los niveles de ruido de la legislación estatal, pero todavía no se cumplen los objetivos de calidad acústica exigidos por la legislación autonómica.

PALABRAS CLAVE: Contaminación Acústica, Plan Acústico, Ruido, Mapa Acústico, Favara.

ABSTRACT

Noise pollution is one of the phenomena that most affects the population today. The continuous exposure we suffer can affect us both physically and psychologically. Despite the seriousness of the problem, it has only recently begun to be addressed, which increases its severity, as most cities were built without considering this impact. This means that it is common to find cities with narrow streets, lack of open spaces or green areas, which added to the growing activity in urban centres and the increase in population, results in a large percentage of the population being exposed to an excessively high level of noise. At present, measures are already being taken to try to mitigate the acoustic impact to which the population is subjected.

In this project, an acoustic study of the town of Favara is carried out, where thanks to a detour of the N-332, the A-38 bypass inaugurated in September 2021, one of the black spots of the Spanish road network that affected the N-332 has been eliminated. This will drastically reduce the amount of traffic passing through the town. The acoustic effect that currently originates in Favara is studied, analysing the noise levels and applying the new acoustic measurement regulations. Noise maps of the area are made by means of a simulation with the software Predictor V2019.3 by SoftNoise, validated with experimental measurements. The data are compared with results obtained in 2014, to check the evolution of the area, where it is observed that there has been a reduction in noise levels. With this improvement, the municipality is close

to complying with the noise levels of state legislation, but still does not meet the acoustic quality objectives required by regional legislation.

KEY WORDS: environmental noise pollution, local acoustic plan, noise, acoustic maps, Favara.

Contenido

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 6 |
| 2. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA | 7 |
| 2.1 Tráfico rodado | 8 |
| 2.2 Conceptos relacionados con la contaminación acústica..... | 8 |
| 2.2.1 Sonido..... | 8 |
| 2.2.2 Ruido | 8 |
| 2.2.3 Curvas isofónica | 10 |
| 2.2.4 Curvas de ponderación en frecuencias | 11 |
| 2.3 Efectos sobre la salud..... | 12 |
| 3. LEGISLACIÓN VIGENTE DEL RUIDO..... | 14 |
| 3.1 Legislación estatal | 14 |
| 3.2 Legislación autonómica..... | 15 |
| 4. ESTUDIO Y REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS IN SITU | 17 |
| 4.1 Ámbito de estudio | 17 |
| 4.2 Puntos de medida | 18 |
| 4.3 Instrumentación empleada | 23 |
| 4.4 Procedimiento de las medidas | 24 |
| 5. RESULTADOS | 25 |
| 5.1. Caudal de tráfico | 25 |
| 5.2 Nivel sonoro equivalente | 26 |
| 6. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES | 28 |
| 6.1 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad del sonómetro..... | 28 |
| 6.2 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para el ruido residual | 29 |
| 6.3 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para la posición del micro..... | 30 |
| 6.4 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para el tráfico rodado | 30 |
| 6.5 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para condiciones meteorológicas..... | 31 |
| 6.6 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad de las medidas | 32 |
| 7. SIMULACIÓN DE LOS MAPAS DE RUIDO DE FAVARA | 34 |
| 7.1 Normas de predicción | 34 |
| 7.2 Introducción de datos en predictor | 35 |
| 7.3 Resultados de la simulación | 37 |
| 8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS..... | 40 |
| 8.1 Comparación de los resultados..... | 40 |
| 8.2 Comparativa de los resultados con estudio anterior | 42 |
| 8.3 Cumplimiento de la normativa..... | 43 |

| | |
|--|----|
| 8.4 Plan acústico de acción autonómica | 45 |
| 8.4.1 Regulación del tráfico rodado | 45 |
| 8.4.2 Programas de minimización de la producción y transmisión de ruidos | 45 |
| 8.4.3 Establecimiento de sistemas de control de ruido | 46 |
| 8.4.4 Otras acciones para reducir el ruido | 46 |
| 9. CONCLUSIONES | 47 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 48 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diferentes tipos de ruido [3] | 9 |
| Figura 2. Curvas de igual sonoridad para tonos puros según la norma UNE-ISO 226:2013 [4] .. | 11 |
| Figura 3. Curvas de ponderación en frecuencia para los filtros A, B, C y D..... | 12 |
| Figura 4. Mapa de Favara, fuentes de ruido y zonas importantes a proteger..... | 17 |
| Figura 5. Mapa de la población donde se muestran los puntos de medida. | 18 |
| Figura 6. Punto de medida 1. | 19 |
| Figura 7. Punto de medida 2. | 19 |
| Figura 8. Punto de medida 3. | 20 |
| Figura 9. Punto de medida 4. | 20 |
| Figura 10. Punto de medida 5. | 20 |
| Figura 11. Punto de medida 6. | 21 |
| Figura 12. Punto de medida 7 | 21 |
| Figura 13. Punto de medida 8. | 21 |
| Figura 14. Punto de medida 9. | 22 |
| Figura 15. Punto de medida 10. | 22 |
| Figura 16. Punto de medida 11. | 22 |
| Figura 17. Punto de medida 12. | 23 |
| Figura 18. Punto de medida 13. | 23 |
| Figura 19. Mapa de Favara..... | 35 |
| Figura 20. Modelo de simulación de la población de Favara..... | 36 |
| Figura 21. Modelo de simulación en 3D de la población de Favara. | 37 |
| Figura 22. Mapa de ruido durante el día..... | 38 |
| Figura 23. Mapa de ruido durante la noche..... | 39 |
| Figura 24. Comparativa de los niveles sonoros medidos y simulados..... | 41 |
| Figura 25. Correlación entre valores medidos y simulados. | 41 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes. .. | 15 |
| Tabla 2. Objetivos de calidad acústica según la Ley 7/2002 de la GVA..... | 15 |
| Tabla 3. Caudal de tráfico periodo diurno. | 25 |
| Tabla 4. Nivel sonoro equivalente medido. | 26 |
| Tabla 5. Nivel sonoro equivalente corregido. | 27 |
| Tabla 6. Nivel sonoro equivalente final..... | 27 |
| Tabla 7. Incertidumbre del sonómetro y coeficiente de sensibilidad..... | 29 |
| Tabla 8. Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para ruido residual. | 30 |
| Tabla 9. Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para tráfico rodado. | 31 |
| Tabla 10. Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad de las medidas..... | 32 |
| Tabla 11. Incertidumbre típica e incertidumbre expandida asociada a los puntos de medida. . | 33 |
| Tabla 12. Resultados finales de las medidas experimentales con su incertidumbre expandida. | 33 |
| Tabla 13. Nivel sonoro equivalente simulado para los periodos día y noche para cada uno de los puntos de medida..... | 37 |
| Tabla 14. Comparativa de los resultados de las medidas “in situ” y los obtenidos por simulación. | 40 |
| Tabla 15. Comparativa de los resultados actuales con los del estudio anterior..... | 42 |
| Tabla 16. Verificación de los objetivos de calidad acústica en periodo diurno para las leyes estatal y autonómica..... | 43 |
| Tabla 17. Verificación de los objetivos de calidad acústica en periodo nocturno para las leyes estatal y autonómica..... | 44 |

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica es considerada como uno de los problemas que más influyen en la calidad de vida y el bienestar de las personas, esto es debido a que las fuentes que la producen suelen ser parte de la vida cotidiana: actividades y lugares de ocio, medios de transporte, industrias y talleres, obras públicas, etc. Esto provoca que gran parte de la población mundial se vea expuesto a los efectos perjudiciales que genera la contaminación acústica.

Con el paso de los años se ha ido tomando consciencia del peligro que suponen los niveles de ruido al que nos encontramos sometidos en nuestra vida cotidiana. Por ello se mide y estudia el ruido así como los efectos que este provoca, con el fin de encontrar medidas eficaces para mitigar los niveles de ruido. De esta forma se crean legislaciones que pretenden regular los niveles de ruido permitidos en las poblaciones, así como para concienciar a la población de los efectos nocivos que el ruido causa a diario en nuestras vidas.

En este trabajo se va a realizar un estudio real donde aplicar los conocimientos adquiridos en la asignatura de Ingeniería Acústica Ambiental del grado de Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen, en este proyecto se estudiará el impacto de ruido ambiental en la población de Favara, y si los niveles calculados cumplen la legislación vigente.

El objetivo principal de este proyecto es la revisión y actualización del Plan Acústico Municipal en la población de Favara para ello se realizarán medidas experimentales “in situ” y mediante un modelo de predicción del ruido provocado principalmente por el tráfico rodado y, se compararán los resultados con los obtenidos en los mapas acústicos realizados en el año 2014.

Objetivo secundario

- Profundizar tanto en el uso de la instrumentación utilizada en las medidas de contaminación acústica siguiendo las recomendaciones de las normas UNE, así como en el uso y conocimiento del software de simulación, Predictor de SoftNoise del ruido de tráfico (de acuerdo al modelo francés NMPB-96 - XPS 31-133).

El presente trabajo se estructura en 9 capítulos:

- En el *Capítulo 1* se lleva a cabo una introducción al caso de estudio, los objetivos y la distribución de la memoria.
- El *Capítulo 2* define en que consiste la contaminación acústica, conceptos relacionados con ella y los efectos que tiene sobre la salud humana.
- El *Capítulo 3* resume la legislación de ruido vigente tanto a nivel nacional como autonómico, aplicable al caso bajo estudio.
- El *Capítulo 4* describe las características de la población de Favara, los puntos de medida y la instrumentación utilizada para realizar las medidas.
- El *Capítulo 5* muestra los resultados obtenidos en las medidas.
- El *Capítulo 6* muestra los cálculos de las incertidumbres asociadas a las medidas realizadas.
- El *Capítulo 7* detalla el proceso para realizar las simulaciones y obtener los mapas de ruido.
- En el *Capítulo 8* se analizan los resultados obtenidos, se comprueba si cumplen con la legislación vigente y se proponen mejoras para combatir el ruido.
- En el *Capítulo 9* se presentan las conclusiones finales de este proyecto.

2. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Se entiende por contaminación acústica la presencia en el ambiente de ruidos aéreo, de impacto o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos que alteren el medio ambiente.

La acústica Medioambiental, se centra en el estudio de ambientes sonoros en el exterior. Es decir, el ruido ambiental y el efecto que este presenta en las personas y en la naturaleza. Trabajando sobre esto, la acústica urbanística intenta crear ambientes sonoros adecuados, mediante el uso de un conjunto de técnicas y métodos. Aplicando estas técnicas y métodos, se busca modificar el ambiente sonoro en un entorno urbano de manera positiva, buscando reducir los niveles de ruido que afectan de forma negativa en los espacios urbanos y en particular a la población. Para llevar a cabo un estudio de la contaminación acústica sobre una población en primer lugar se realiza un diagnóstico de la situación actual de la zona, para ello la técnica más común es el uso de mapas de ruido que permiten determinar los niveles sonoros en la zona de estudio e identificar las fuentes del problema y de ese modo plantear las soluciones más adecuadas.

Se pueden encontrar fuentes naturales de ruido, producidas por fenómenos como las tormentas y los sonidos producidos por los animales. Por otra parte, se encuentran las fuentes artificiales de ruido, generadas por la actividad humana en zonas urbanas:

- **Tráfico rodado:** el principal foco de ruido en las ciudades es generado por los automóviles. Se estima que en torno al 80% de la contaminación acústica en las ciudades es producto del tráfico rodado [1].
- **Tráfico ferroviario:** ruido provocado por las vibraciones del tránsito de trenes para el transporte de mercancías o personas.
- **Tráfico aéreo:** ruido originado por el tráfico de aviones, principalmente en el despegue y aterrizaje cuando el avión se encuentra más próximo al suelo.
- **Ruido industrial:** es el ruido asociado con los procesos industriales que puede causar daños auditivos como resultado del alto nivel de decibelios.
- **Servicios:** ruido puntual producido por comercios, restaurantes, bares y locales de ocio.

Este proyecto se centra en el estudio del tráfico rodado, el cual se pasa a detallar.

2. Contaminación acústica

2.1 Tráfico rodado

En el ambiente urbano de las ciudades, el ruido por tráfico rodado se constituye como una de las principales fuentes de contaminación acústica. Dentro del ruido urbano originado por los vehículos hay una superposición de tres tipos de ruido diferenciados, tales como: el ruido de propulsión (el motor, la transmisión y el sistema de escape asociado), el ruido de rodadura se genera entre los neumáticos y la calzada, y el ruido aerodinámico.

Cuando los vehículos circulan a velocidades superiores a los 80 km/h el ruido de origen aerodinámico supera al ruido de propulsión y al de rodadura. Entre 50 y 80 km/h predomina el ruido de rodadura. Por debajo de 50 km/h en general predomina el ruido del motor. Sin embargo, y especialmente en el caso de los automóviles más nuevos, el silenciador de escape es tan efectivo que aún a velocidades tan bajas como 40 km/h sigue predominando el ruido de rodadura. En las ciudades donde transitan millones de automóviles, en general se mantiene el ruido de rodadura y el de motor [2].

Para un vehículo individual, un aumento de la velocidad implica una menor duración del tiempo de paso frente a un observador, por lo cual el nivel equivalente de ruido (nivel promedio) parecería reducirse. Sin embargo, la energía sonora emitida aumenta más rápido con la velocidad que lo que se reduce el tiempo de paso, por lo que, a mayor velocidad, mayor nivel equivalente de ruido.

Otra consideración, es el refuerzo del sonido emitido por reflexión en las paredes y en el pavimento. Este fenómeno se conoce como reverberación urbana y puede aumentar el nivel sonoro en varios decibeles con respecto al que se tendría en un espacio completamente abierto, sobre todo se acentúa en calles estrechas y con altos edificios.

2.2 Conceptos relacionados con la contaminación acústica

2.2.1 Sonido

En física, el sonido es cualquier fenómeno que involucre la generación de ondas mecánicas (sean audibles o no), a través de un medio (fluido o sólido).

Cuando hablamos de sonidos que sí podemos oír, nos referimos a ondas sonoras que se han generado con las vibraciones de los cuerpos y los objetos en nuestro entorno. Estas ondas sonoras viajan y llegan hasta nuestros oídos, transformándose en ondas mecánicas. Dicho más simple, podemos oír porque nuestros tímpanos recogen las ondas de sonido y después de ser amplificadas en el oído medio, finalmente la cóclea los convierte en impulsos nerviosos que son interpretadas en nuestro cerebro.

2.2.2 Ruido

El ruido se define como aquella emisión de energía originada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído y provoca una sensación de molestia. Es un caso particular del sonido: se entiende por ruido aquel sonido no deseado.

Un ruido es la sensación auditiva no deseada correspondiente generalmente a una variación aleatoria de la presión a lo largo del tiempo. Es en general un sonido complejo, y puede ser caracterizado por la frecuencia de los sonidos puros que lo componen y por la amplitud de la

2. Contaminación acústica

presión acústica correspondiente a cada una de esas frecuencias. Si el sonido es de banda ancha, se caracteriza entonces el ruido por la repartición de la energía sonora en bandas de frecuencias contiguas, definiendo lo que se denomina espectro frecuencial del ruido.

Existen multitud de variables que permiten diferenciar unos ruidos de otros: su composición en frecuencias, su intensidad, su variación temporal, su cadencia y ritmo, etc. Como vemos en la Figura 1, podemos diferenciar entre los siguientes tipos de ruido:

- **a**: el ruido continuo o constante es aquel ruido cuya intensidad permanece constante o presenta pequeñas fluctuaciones (menores a 5 decibelios) a lo largo del tiempo. El problema de este ruido es que nuestro oído tiende a acostumbrarse y normalizarlo sin percibirlo como tal.
- **b**: cuando su nivel sonoro comienza y termina dentro de un periodo de tiempo más o menos largo.
- **c**: el ruido continuo intermitente, es aquel ruido que se produce durante periodos de tiempo intermitentes, alternado con periodos sin ruido. Durante los periodos de ruido la intensidad permanece constante o presenta pequeñas fluctuaciones (menores a 5 decibelios).
- **d**: el ruido fluctuante es aquel ruido cuya intensidad fluctúa (varia) a lo largo del tiempo. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o aleatorias.
- **e**: el ruido impulsivo es aquel ruido cuya intensidad aumenta bruscamente durante un impulso. La duración de este impulso es breve, en comparación con el tiempo que transcurre entre un impulso y otro. Suele ser bastante más molesto que el ruido continuo.
- **f**: el ruido impulsivo repetitivo, consiste en la repetición de ruidos que aumentan de intensidad rápidamente y de corta duración, que se repiten a la largo del tiempo.

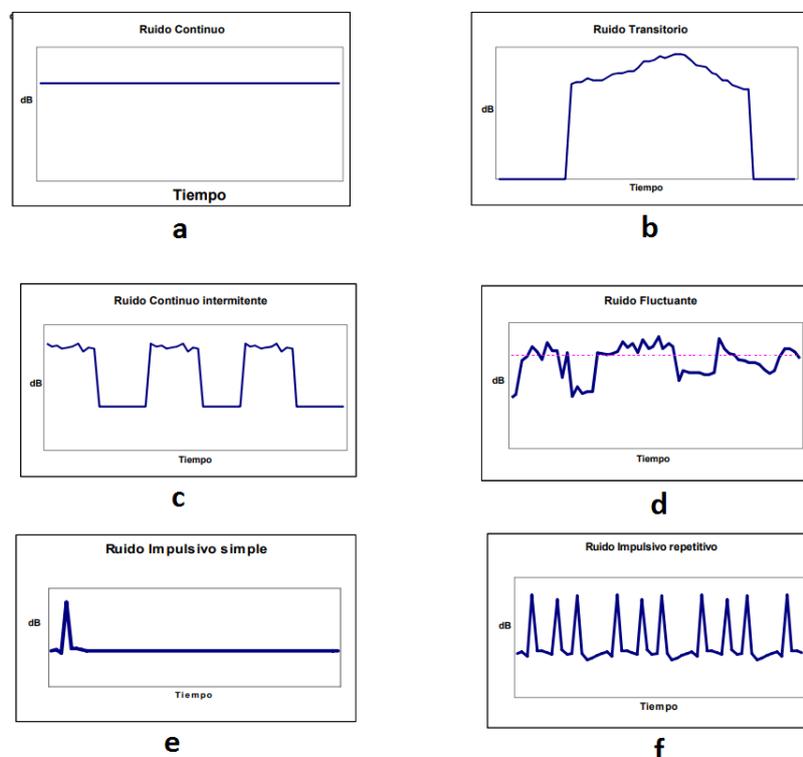


Figura 1. Diferentes tipos de ruido [3]

2. Contaminación acústica

2.2.3 Curvas isofónica

La percepción subjetiva del sonido depende de múltiples factores. Así, por ejemplo, la sonoridad distingue entre sonidos altos y bajos y está relacionada con la intensidad acústica o con la presión acústica eficaz, y el tono, diferencia los sonidos agudos de los graves y está relacionado con la frecuencia del sonido (cuanto más agudo es un sonido mayor es su frecuencia). Otros factores pueden ser el timbre, el ritmo, etc.

Aparecen, pues, dos conceptos esencialmente distintos, aunque íntimamente relacionados: por un lado, la onda sonora o ente físico capaz de producir la sensación de sonido; y por el otro, la sonoridad o sensación subjetiva producida por ciertas variaciones de presión en el oído.

En general, los sonidos están formados por unión de componentes de distinta frecuencia, dependiendo su sonoridad de las contribuciones relativas de cada componente, es decir de las frecuencias presentes y de las intensidades correspondientes. Físicamente, se representan mediante su espectro de frecuencia

El espectro audible del ser humano engloba un rango de frecuencias muy amplio, desde los 20 Hz hasta los 20 kHz. Se les denomina infrasonidos, a los sonidos con frecuencias inferiores a 20 Hz y ultrasonidos a los sonidos con frecuencias superiores a 20 kHz. Las frecuencias que conforman el espectro auditivo humano se dividen en frecuencias bajas (20-256 Hz), medias (256 Hz – 2 kHz) y agudas (2 kHz – 20 kHz).

En la siguiente gráfica (ver Figura 2) se observan las curvas isofónicas o curvas de Fletcher y Munson que son el resultado de la comprobación experimental de la relación entre cómo de sonoro se percibe un sonido por el oído humano a lo largo de la banda audible [4]. El eje de abscisas representa el rango de frecuencias captadas por el ser humano. En el eje de las ordenadas, se representa el nivel de intensidad desde el umbral de audición hasta el umbral del dolor (de -10 dB a 130 dB). Estas curvas calculan la relación que existe entre la frecuencia y la intensidad de dos sonidos (medidas en fonios) para que sean percibidos con la misma sensación de sonoridad por el oído. A 1 kHz, los valores en fonios coinciden con los niveles sonoros y todos los puntos sobre una misma curva isofónica tienen la misma sonoridad. Como se aprecia, cuanto mayor es el nivel de intensidad, más planas se vuelve las curvas, es decir, menos dependen de la frecuencia del sonido

2. Contaminación acústica

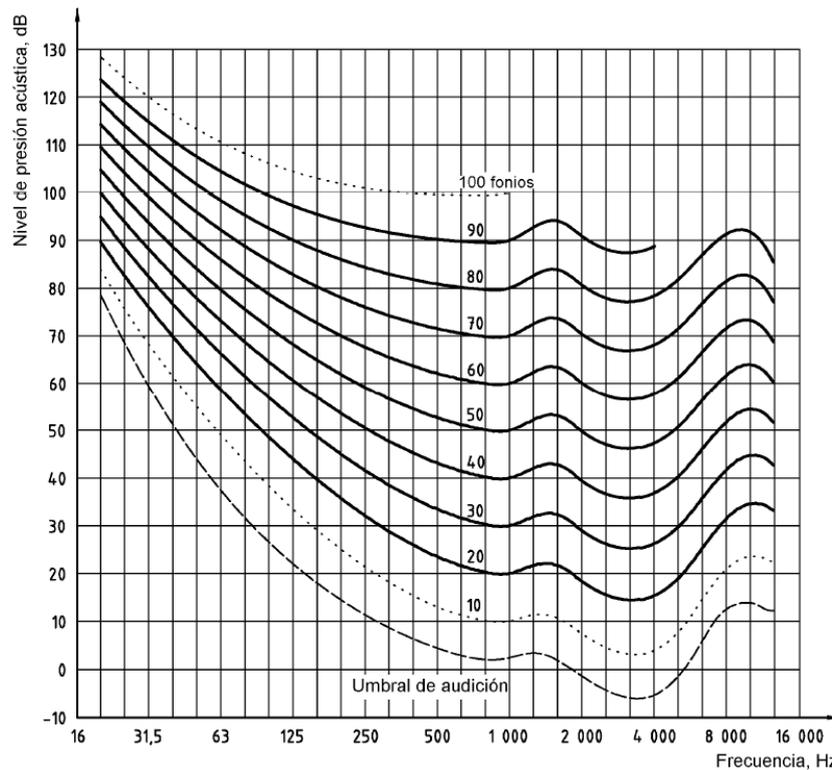


Figura 2. Curvas de igual sonoridad para tonos puros según la norma UNE-ISO 226:2013 [4]

2.2.4 Curvas de ponderación en frecuencias

El oído humano no es sensible de la misma manera a las diferentes frecuencias. Así, para un mismo nivel de presión sonora, un ruido será tanto más molesto cuanto mayor proporción de altas frecuencias contenga. Basándose en las curvas de igual sonoridad del oído humano se definieron una serie de filtros con la intención de ponderar la señal objetivo registrada por el micrófono y que se adapte a la sensibilidad del oído humano, es decir, atenuando las frecuencias bajas y altas, para poder reflejar un nivel sonoro representativo de la sensación de ruido realmente percibida por las personas.

Para tener en cuenta esta sensibilidad se introduce en la medida del ruido el concepto de filtros de ponderación frecuencial. Estos filtros actúan de manera que los niveles de presión de cada banda de frecuencia son corregidos en función de la frecuencia según unas curvas de ponderación. Con este criterio se han definido varios filtros, siendo los más conocidos los siguientes:

- A: para los sonidos débiles. Se aproxima a la curva de audición para baja sensibilidad.
- B: para sonidos medios. Se aproxima a la curva de audición para sensibilidad media.
- C: para sonidos intensos. Se aproxima a la curva de audición para sensibilidad alta.
- D: Es una curva de ponderación pensada específicamente para medir ruido en aviones. Destaca por una enfatización entre 1 y 10 kHz.

2. Contaminación acústica

En la siguiente gráfica (ver Figura 3) podemos observar el comportamiento de los filtros A, B, C y D.

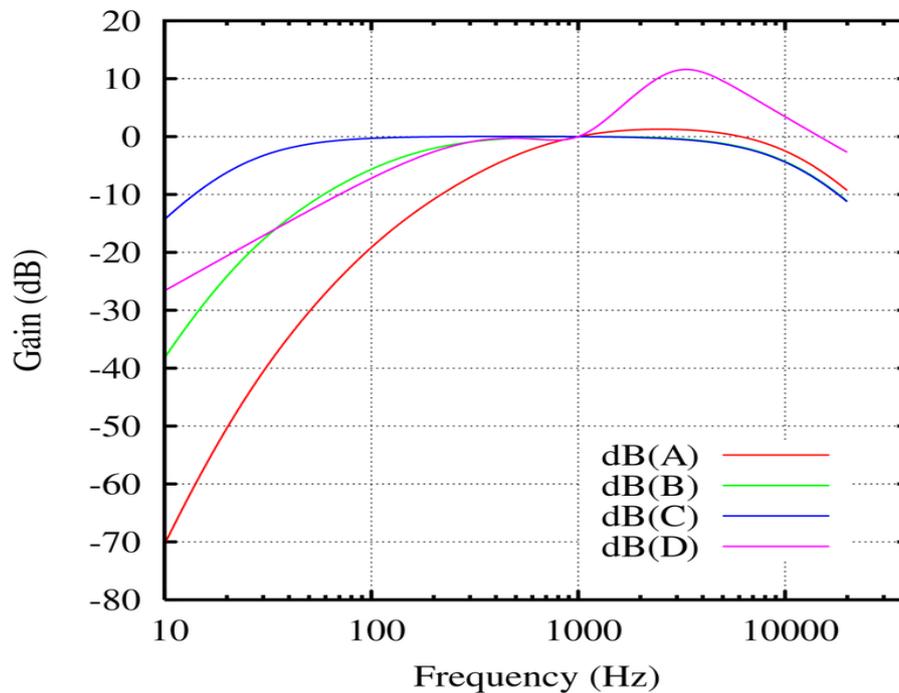


Figura 3. Curvas de ponderación en frecuencia para los filtros A, B, C y D.

El filtro utilizado en el dominio del ruido del tráfico rodado es el A, y los niveles de presión sonora utilizados se miden en decibelios A, dBA.

2.3 Efectos sobre la salud

El nivel de ruido recomendado por la OMS para garantizar una buena salud y bienestar es de 65 dBA. Si la exposición es superior a 85 dB, ya hay riesgo de pérdida auditiva crónica. Mientras que, si la exposición se repite en el tiempo y por encima de 100 dB, hay riesgo de pérdida inmediata [5].

Entre las personas sometidas a niveles de ruido superiores a 85 dBA, se produce un 12% más de problemas cardiovasculares, un 37% más de problemas neurológicos y un 10% más de problemas digestivos, respecto a la población que no se encuentra sometida a tales niveles de ruido [6].

La pérdida de audición, hipoacusia, inducida por el ruido, conocido también como traumatismo acústico (agudo o crónico), es un problema de salud que se incrementa con el avance de la civilización. Por ello el ruido se engloba dentro del término contaminación acústica.

El traumatismo acústico agudo se produce cuando hay una exposición a un ruido único de muy corta duración, pero de muy alta intensidad, son los llamados ruidos de tipo impulsivo (una

2. Contaminación acústica

explosión, disparos, petardos...). También puede producirse por determinados ruidos industriales o los generados en discotecas o conciertos.

Por su parte, el traumatismo acústico crónico, llamado también daño auditivo inducido por el ruido, es la pérdida auditiva continua, permanente y acumulativa, de origen neurosensorial, que se desarrolla de forma gradual a lo largo de los años, como consecuencia de la exposición a niveles perjudiciales de ruido ambiental o laboral, de tipo continuo o intermitente, de intensidad relativamente alta.

Al principio, la lesión del oído interno y la pérdida de audición pueden ser temporales, durando minutos, horas o días, pero si la exposición es repetitiva, la lesión del oído interno puede producir una pérdida auditiva permanente. Así, en una primera fase la sordera es moderada, solo de frecuencias agudas y se puede revertir. Sin embargo, después el daño auditivo se hace permanente e irreversible afectando también a las frecuencias medias y las bajas llegando a presentar una sordera severa.

Así es como el ruido afecta a la audición, dificulta la comunicación y produce otros efectos negativos sobre la salud: incrementa el riesgo de enfermedades cardiovasculares, produce insomnio, genera estrés y problemas psicológicos, dificulta el aprendizaje al disminuir la capacidad de atención y concentración e incluso la memoria y la motivación.

3. LEGISLACIÓN VIGENTE DEL RUIDO

En este capítulo, se presentan las diferentes leyes de protección contra la contaminación acústica vigentes a nivel autonómico y estatal por las cuales se rige la población de Favara. Todas ellas vienen dirigidas desde La Unión Europea, que pretende regular las emisiones de ruido producidas por la actividad humana. La legislación que propone la Unión Europea ha ido evolucionando con los años. En 1992, se aprueba el programa de acción en relación con el medio ambiente y su desarrollo sostenible. El objetivo principal de este programa es impedir la exposición de la sociedad a niveles superiores a 65 dBA durante el día. En 1996, se empieza a tomar conciencia de la importancia de homogenizar el entorno normativo, que se pretende hacer frente con la presentación del Libro Verde de la Comisión Europea [8]. Finalmente, en el año 2002, es cuando se presenta la Directiva 2002/49/CE, la cual pretende armonizar los métodos de evaluación en los diferentes países de la CEE [9].

Teniendo en cuenta las directrices de la Unión Europea, se establecen una serie de medidas legislativas a nivel estatal, autonómico y local para el control y la regulación de los niveles de contaminación acústica. Las medidas legislativas que afectan a este estudio son las listadas a continuación:

- Ley 37/2003 de 17 de noviembre, del ruido [10].
- Real decreto 1367/2007 de 19 de octubre, que desarrolla la ley 37/2003 en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas [11].
- 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 [12].
- Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica [13].
- Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de las edificaciones, obras y servicios [14].

3.1 Legislación estatal

En este proyecto se sigue el Real decreto 1367/2007 de 19 de octubre, donde se desarrolla la ley 37/2003 de ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

3. Legislación vigente del ruido

Los objetivos de calidad vienen determinados en el Anexo II del real decreto 13/2007, y se muestran en la siguiente tabla (ver tabla 1):

| Tipo de área acústica | | Índices de ruido (dbA) | | |
|-----------------------|--|------------------------|-----|-----|
| | | Ld | Le | Ln |
| e | Sectores del territorio con predominio de suelo sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica. | 60 | 60 | 50 |
| a | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial. | 65 | 65 | 55 |
| d | Sectores del territorio con predominio de uso terciario distinto del empleado en c). | 70 | 70 | 65 |
| c | Sectores del territorio con predominio de uso recreativo y de espectáculos. | 73 | 73 | 63 |
| b | Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial. | 75 | 75 | 65 |
| f | Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1) | (2) | (2) | (2) |

Tabla 1. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes.

- (1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre
- (2) En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas acústicas colindantes con ellos.

3.2 Legislación autonómica

Respecto al nivel autonómico, cabe destacar que las leyes autonómicas nunca pueden ser menos restrictivas que las leyes estatales, pero sí más restrictivas. Actualmente se encuentra vigente la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana publicada el 3 de diciembre de 2002 y la cual describe la legislación para la protección contra la contaminación acústica en dicho territorio.

Los objetivos de calidad acústica determinados por la legislación autonómica en espacios exteriores vienen marcados en la siguiente tabla (ver Tabla 2):

| Uso dominante | Nivel sonoro dBA | |
|---------------------|------------------|-------|
| | Día | Noche |
| Sanitario y docente | 45 | 35 |
| Residencial | 55 | 45 |
| Terciario | 65 | 55 |
| Industrial | 70 | 60 |

Tabla 2. Objetivos de calidad acústica según la Ley 7/2002 de la GVA.

3. Legislación vigente del ruido

Si comparamos con los niveles establecidos en la normativa estatal podemos observar donde la normativa autonómica es más restrictiva:

- Predominio de suelo de uso sanitario y docente: 15 dBA menos que la norma estatal.
- Predominio de suelo de uso residencial: 10 dBA menos que la norma estatal.
- Predominio de suelo de uso industrial: 5 dBA menos que la norma estatal.

Estas diferencias se aplican tanto en el periodo diurno como en el nocturno.

4. ESTUDIO Y REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS IN SITU

El primer paso para llevar a cabo las medidas será, conocer las principales fuentes de ruido de la zona que será objetivo de estudio, así como las zonas a proteger y que más atención requieren

4.1 Ámbito de estudio

El objeto de estudio de este proyecto es Favara (Valencia), población de 2518 habitantes (2019) y una extensión de 9.45 km² se encuentra a 12 metros de altitud sobre el nivel del mar, presentando una densidad de población de 266.5 habitantes por km² [15]. En la población no existe una ordenanza de ruido y vibraciones por tanto se aplicará de forma subsidiaria la normativa establecida en la Comunidad Valenciana.

Hay que prestar atención a las carreteras principales que pasan por Favara, tratándose de la autopista AP-7, la carretera nacional N-322 (ahora desviada) y la carretera comarcal CV-510. Estas tres carreteras son vías de alta densidad de tráfico, lo que las convierte en las principales fuentes de ruido sobre la población.

Por otro lado, en la población encontramos un centro de educación primaria e infantil, C.P Félix Olmos, que se encuentra a lado de la autopista Ap-7, y un centro de salud, Consultori Auxiliar de Favara, que se encuentra a lado de la carretera N-322. Edificios a los cuales habrá que prestar especial atención, puesto que se encuentran situados junto a vías de alta densidad de tráfico, y según la normativa son edificios que requiere protección especial contra la contaminación acústica.

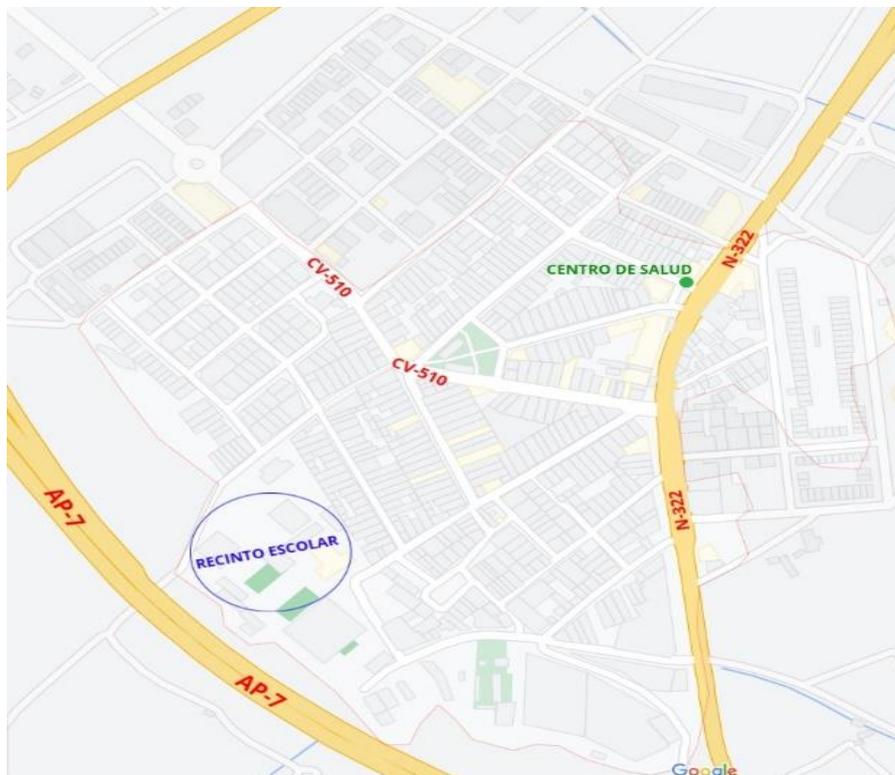


Figura 4. Mapa de Favara, fuentes de ruido y zonas importantes a proteger.

4. Estudio y realización de las medidas in situ

4.2 Puntos de medida

En este estudio, se pretende comparar los datos obtenidos con los obtenidos en un estudio realizado en 2014, para comprobar si las medidas que se tomaron para la reducción del ruido han surgido efecto [16]. Por ello los puntos de medida van a ser los mismos que se utilizaron en 2014, en el siguiente mapa (ver Figura 5) observamos la localización de los trece puntos:

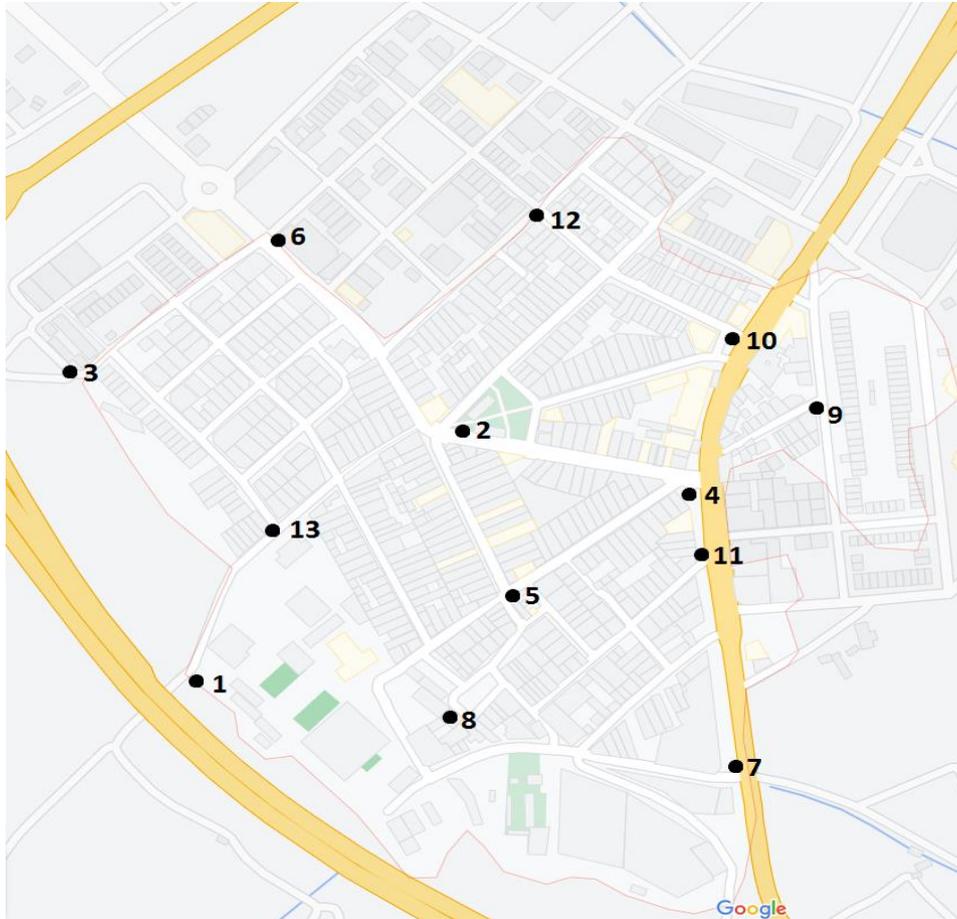


Figura 5. Mapa de la población donde se muestran los puntos de medida.

Nueve de estos puntos, cubrirán las zonas con vías de alta intensidad de tráfico rodado y zonas especiales a proteger. Los cuatro puntos restantes cubrirán otras zonas de la población con vías de baja intensidad de tráfico rodado. En cada uno de estos puntos, se llevarán a cabo un total de 3 medidas experimentales del nivel sonoro equivalente, cada medida tendrá una duración de diez minutos y se realizarán en el horario diurno.

A continuación, se muestran fichas de campo de las mediciones, donde se muestra el registro fotográfico de la posición del micrófono y se completa con información relevante:

4. Estudio y realización de las medidas in situ

| PUNTO 1 | |
|--|---|
|  <p><i>Figura 6. Punto de medida 1.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer Sant Llorenc. • Cobertura del colegio C.P. Félix Olmos (Zona especial). • Cobertura de la autopista AP-7 (vía de alta densidad de tráfico). |
| Fecha de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.93 m/s |
| Temperatura: 22.1 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.1252135541379, -0.2933957697796542 | |

| PUNTO 2 | |
|--|---|
|  <p><i>Figura 7. Punto de medida 2.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer Reis Catòlics. • Punto situado en la plaza del ayuntamiento de Favara. • Cobertura de la carretera CV-510 (vía de alta densidad de tráfico) |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.6 m/s |
| Temperatura: 20.53 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.127246411099144, -0.291590421712919 | |

4. Estudio y realización de las medidas in situ

| PUNTO 3 | |
|--|---|
|  <p><i>Figura 8. Punto de medida 3.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer de les Oliveres. • Cobertura de la autopista AP-7 (vía de alta densidad de tráfico). |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.93 m/s |
| Temperatura: 22.1 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.127708530867075, -0.29470505613930936 | |

| PUNTO 4 | |
|---|--|
|  <p><i>Figura 9. Punto de medida 4.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Av. Verge del Castell. • Cobertura de la carretera N-322 (vía de alta densidad de tráfico). • en el punto donde se une con la carretera CV-510 (vía de alta densidad de tráfico). |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.8 m/s |
| Temperatura: 20.6 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.12688594756638, -0.2898192754838134 | |

| PUNTO 5 | |
|---|---|
|  <p><i>Figura 10. Punto de medida 5.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer Joan Garcés. • Punto situado en una zona alejada de las principales zonas de ruido, para obtener cobertura de todo el terreno. • Cobertura de vías de baja densidad de tráfico. |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.43 m/s |
| Temperatura: 20 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.12610124612123, -0.2913291940808242 | |

4. Estudio y realización de las medidas in situ

| PUNTO 6 | |
|---|---|
|  <p><i>Figura 11. Punto de medida 6.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer Sant Vicent. • Cobertura de la carretera CV-510(vía de alta densidad de tráfico a la entrada de la población). |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.6 m/s |
| Temperatura: 20.53 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.12863289914988, -0.2931246623701861 | |

| PUNTO 7 | |
|---|--|
|  <p><i>Figura 12. Punto de medida 7</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Av. Sant Critobal. • Cobertura de una de las entradas a la población por donde pasa la carretera N-322 (vía de alta densidad de tráfico) |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.9 m/s |
| Temperatura: 21.2 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.12514341737227, -0.28958243774401776 | |

| PUNTO 8 | |
|---|---|
|  <p><i>Figura 13. Punto de medida 8.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer Barranc. • Punto situado en la zona del polideportivo de Favara. • Cobertura de vías de baja densidad de tráfico. |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 1.2 m/s |
| Temperatura: 21.6 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.125308866993514, -0.2916966653145629 | |

4. Estudio y realización de las medidas in situ

| PUNTO 9 | |
|---|---|
|  <p><i>Figura 14. Punto de medida 9.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer Ausiàs March. • Punto situado en zona residencial alejado de las principales fuentes de ruido. • Cobertura de vía de baja densidad de tráfico |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.65 m/s |
| Temperatura: 20°C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.12751669826812, -0.28881904927280466 | |

| PUNTO 10 | |
|---|---|
|  <p><i>Figura 15. Punto de medida 10.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Av. Verge del Castell. • Cobertura del centro de salud (zona especial). • Cobertura de la carretera N-322 (vía de alta densidad de tráfico). |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.8 m/s |
| Temperatura: 20.6 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.1278915252562, -0.289439415814185 | |

| PUNTO 11 | |
|--|---|
|  <p><i>Figura 16. Punto de medida 11.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Av. Verge del Castell. • Punto situado en el centro de Favara. • Cobertura de la carretera N-322 (vía de alta densidad de tráfico) |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.8 m/s |
| Temperatura: 20.6 °C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.1264237072265, -0.2897442117647735 | |

4. Estudio y realización de las medidas in situ

| PUNTO 12 | |
|--|---|
|  <p><i>Figura 17. Punto de medida 12.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en Carrer Lepanto. • Punto situado en una zona alejada de las principales zonas de ruido, para obtener cobertura de todo el terreno. • Cobertura de vías de baja densidad de tráfico. |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.4 m/s |
| Temperatura: 20.9°C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.128810755368896, -0.29102321324017977 | |

| PUNTO 13 | |
|---|---|
|  <p><i>Figura 18. Punto de medida 13.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Punto situado en carrer Sant Llorenc. • Cobertura del colegio C.P Félix Olmos (zona especial). • Cobertura de vías de baja densidad de tráfico. |
| Fechas de medidas: 11/2021 | Velocidad del viento: 0.6 m/s |
| Temperatura: 21.6°C | Humedad relativa: 53% |
| Coordenadas geográficas: 39.12660625876135, -0.2931516884707103 | |

4.3 Instrumentación empleada

En la realización de las medidas acústicas de este estudio se ha utilizado 1 sonómetro de la marca B&K tipo 1, cumple la norma UNE-EN 61672-3:2014 y ha pasado la revisión periódica metrológica.

La lista completa de los equipos de medida se presenta a continuación:

- Sonómetro Integrador modelo 2250 Light (Brüel & Kjaer) con nº de serie: 2602755
- Micrófono ½ pulgada (1,27 cm) Tipo 4189 omnidireccional con nº de serie: 2600904, con rango dinámico con ponderación A de 16,6 dB a 140 dB y rango de frecuencias lineal de 4,2 Hz a 22,4 kHz
- Calibrador Sonoro modelo 4231 (Brüel & Kjaer) con nº de serie: 3026465 y cumple con la norma UNE-EN 60942:2019 Clase 1

4. Estudio y realización de las medidas in situ

- Termohigrómetro Testo 635 con nº de serie: 014377887/710 para medir la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica.
- Pantalla anti-viento modelo 2250 de la marca Brüel&Kjaer.
- Anemómetro Testo 410-2 para medir la temperatura, la humedad relativa.
- Trípode

Respecto al Software utilizado

- BZ5503 Measurement Partner Suite, módulo de descarga y procesado de datos del sonómetro.
- Software de simulación: Predictor de SoftNoise V.2019.3 7810-C para ruido de tráfico e industrial

4.4 Procedimiento de las medidas

Siguiendo la legislación de la comunidad Valenciana, dividiremos el día en dos periodos, día (desde 8 h hasta 22 h) y noche (desde 22 h hasta 8 h). Se tienen que realizar tres medidas en cada uno de los puntos, tratando de hacerlas a distintas horas para que los resultados sean lo más próximos a la realidad. Por motivos de seguridad las medidas nocturnas no se llevaran a cabo. Los resultados del periodo de la noche se obtendrán por medio de una simulación, basado en los datos recabados durante el día.

A la hora de colocar el sonómetro, hay que posicionarlo de manera que el micrófono se encuentre a dos metros de distancia mínima de cualquier fachada cercana, y a una altura de 1.5 m del suelo.

Antes de realizar cada medida, habrá que anotar los datos meteorológicos del momento exacto en el que se van a realizar las mediciones. Esto es necesario ya que la norma UNE-ISO 1996-2:2020 [16] establece límites que hay que cumplir para realizar las medidas. Del mismo modo durante el transcurso de la medición, se hará recuento de los vehículos que pasan.

Por último, antes de realizar la medida, colocaremos la pantalla antiviento sobre el micrófono. Y comprobaremos que la configuración del sonómetro es la correcta. La configuración es la siguiente:

- **Modo: Sonómetro.** Es el más apropiado para medidas de contaminación acústica.
- **Tiempo de medida:** 10 minutos.
- **Ponderación frecuencial:** AC para banda ancha y C para picos.
- **Corrección por pantalla antiviento:** Si.
- **Modo de respuesta:** Fast. Tal como indica la normativa.
- **Obtención de percentiles** para poder después realizar el cálculo de incertidumbres.

Una vez comprobadas todas estas consideraciones, se procede a realizar las medidas.

5. RESULTADOS

5.1. Caudal de tráfico

Durante el transcurso de las mediciones, de 10 minutos, se realizó el recuento de los vehículos que circulaban por las carreteras estudiadas. Se hará un promedio de los vehículos medidos en cada una de las tres medidas para cada punto. El resultado del promedio se multiplicará por seis para obtener la media de tráfico en 1 hora, necesaria para realizar los cálculos de corrección y cálculos de incertidumbre.

En la siguiente tabla 3, se muestran los caudales de tráfico en una hora para cada uno de los puntos de medida, junto a la desviación típica debido a cada una de las tres medidas de cada punto:

| Puntos | Vehículos/hora | |
|--------|----------------|-----------|
| | Ligeros | Pesados |
| 1 | 32 ± 7.4 | 0 |
| 2 | 434 ± 82.2 | 15 ± 2.8 |
| 3 | 15 ± 7.5 | 0 |
| 4 | 393 ± 107.4 | 15 ± 7.4 |
| 5 | 86 ± 19.7 | 0 |
| 6 | 348 ± 43.5 | 10 ± 10.1 |
| 7 | 184 ± 19.7 | 14 ± 5.6 |
| 8 | 6 ± 0 | 0 |
| 9 | 6 ± 0 | 0 |
| 10 | 357 ± 12.6 | 15 ± 2.8 |
| 11 | 150 ± 26.9 | 12 ± 4.9 |
| 12 | 60 ± 4.8 | 4 ± 2.8 |
| 13 | 14 ± 7.4 | 0 |

Tabla 3. Caudal de tráfico periodo diurno.

Puesto que no se realizaron medidas durante la noche, para las simulaciones del periodo nocturno, se tomará una quinta parte del tráfico registrado durante el día. Este dato se ha estimado a partir de otros trabajos realizados en poblaciones similares.

5.2 Nivel sonoro equivalente

A continuación, se presentan en la Tabla 4 los datos de los valores sonoros obtenidos para cada una de las tres medidas realizadas en cada uno de los trece puntos:

| Punto | L' Aeq(dBA) día 1 | L' Aeq(dBA) día 2 | L' Aeq(dBA) día 3 |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 56.8 | 58.3 | 57.1 |
| 2 | 66.0 | 66.5 | 67.0 |
| 3 | 52.1 | 53.3 | 54.1 |
| 4 | 63.2 | 65.5 | 63.8 |
| 5 | 55.1 | 52.2 | 56.9 |
| 6 | 64.9 | 63.5 | 63.7 |
| 7 | 66.5 | 68.3 | 67.3 |
| 8 | 52.6 | 56.2 | 54.2 |
| 9 | 49.6 | 54 | 52.3 |
| 10 | 63.8 | 64.2 | 64.5 |
| 11 | 63.1 | 62.8 | 64.3 |
| 12 | 56.2 | 57.5 | 54.0 |
| 13 | 51.6 | 52.4 | 55.0 |

Tabla 4. Nivel sonoro equivalente medido.

Siguiendo la norma UNE-ISO 1996-2 de octubre de 2020, para medidas a corto plazo, como es el caso realizado, se necesita aplicar una corrección para ruido residual siguiendo la siguiente fórmula:

$$L = L' + 10 \lg \left(1 - 10^{-0,1(L' - L_{res})} \right) \text{dB}$$

Donde

- L' hace referencia a la medida realizada con el sonómetro
- Para L_{res} tomamos el valor percentil L_{A95} medido con el sonómetro.

5. Resultados

Aplicando la formula, los valores obtenidos quedan reflejados en la tabla 5:

| Punto | L _{Aeq} (dBA) día 1 | L _{Aeq} (dBA) día 2 | L _{Aeq} (dBA) día 3 |
|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 56.7 | 57.9 | 56.6 |
| 2 | 65.9 | 66.4 | 66.7 |
| 3 | 51.6 | 52.4 | 53.2 |
| 4 | 62.5 | 65.4 | 63.7 |
| 5 | 54.8 | 52.3 | 56.6 |
| 6 | 64.7 | 63.2 | 63.2 |
| 7 | 66.5 | 68.3 | 67.3 |
| 8 | 52.1 | 55.9 | 53.7 |
| 9 | 48.8 | 53.4 | 51.7 |
| 10 | 63.5 | 64.1 | 64.4 |
| 11 | 62.9 | 62.7 | 64.2 |
| 12 | 56.0 | 57.3 | 53.5 |
| 13 | 50.3 | 51.4 | 54.1 |

Tabla 5. Nivel sonoro equivalente corregido.

Por último, para determinar el nivel sonoro equivalente medio para cada uno de los puntos aplicamos la siguiente formula:

$$L_k = 10 \lg \left(\frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} 10^{0.1L_i} \right) \text{ dB}$$

Así en la tabla 6 se muestran los valores sonoros finales, junto a la desviación estándar entre las 3 medidas por punto, lo que nos indica la estabilidad del punto y la representatividad de las medidas. En este proyecto si la incertidumbre no supera los 3 dBA, las mediciones se consideran válidas:

| Punto | L _{Aeq,1h ref} (dBA) |
|-------|-------------------------------|
| 1 | 57.1 ± 0.8 |
| 2 | 66.4 ± 0.5 |
| 3 | 52.5 ± 1.0 |
| 4 | 64.1 ± 1.2 |
| 5 | 54.9 ± 2.2 |
| 6 | 63.8 ± 0.8 |
| 7 | 67.4 ± 0.9 |
| 8 | 54.2 ± 1.8 |
| 9 | 51.7 ± 2.2 |
| 10 | 64.1 ± 0.4 |
| 11 | 63.3 ± 0.8 |
| 12 | 55.9 ± 1.8 |
| 13 | 52.2 ± 1.8 |

Tabla 6. Nivel sonoro equivalente final.

6. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

Debido a que las mediciones son experimentales, el resultado de la medida nunca coincide exactamente con el valor real de la magnitud (cualquier equipo para realizar mediciones, especialmente en campo abierto, tiende a desviarse del valor real) en este apartado se pretende evaluar la exactitud de las medidas tomadas. Para ello se van a realizar una serie de cálculos, que nos darán como resultado las incertidumbres de las mediciones realizadas.

Para este estudio y según la Norma ISO 1996-2 de octubre de 2020 se sigue la Guía para la Expresión de Incertidumbre de Medida, en la cual se establecen las normas generales para la evaluación y expresión mediante modelos matemáticos. Ésta norma considera todas las magnitudes que pueden influir de manera significativa a la incertidumbre en los niveles de presión sonora dependiendo de:

- El método de medida.
- La instrumentación utilizada.
- La fuente de sonido.
- Las condiciones meteorológicas.
- El intervalo de duración de la medición.
- La distancia existente entre el receptor y fuente.

Se proporciona una probabilidad de cobertura del 95%, ya que la incertidumbre en la medida es expresada como una incertidumbre expandida, que se basa en una combinación de incertidumbres multiplicada por un factor de cobertura igual a 2.

En este proyecto se tendrán en cuenta las incertidumbres debido al tipo de sonómetro, a las condiciones meteorológicas, a la posición del micro respecto a superficies reflectantes y la incertidumbre residual

6.1 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad del sonómetro

El Sonómetro Integrador, de la marca Brüel&Kjaer modelo 2250 light utilizado para este proyecto es un sonómetro de tipo 1. Por lo tanto, siguiendo las referencias de la norma ISO 1996-2 de octubre de 2020, se nos indica que para los sonómetros de tipo 1 la incertidumbre es:

$$u_{L'} = 0.5 \text{ dB}$$

Por otro lado para calcular el coeficiente de sensibilidad habrá que aplicar la siguiente formula:

$$c_{L'} = \frac{1}{1 - 10^{-0,1(L' - L_{\text{res}})}}$$

6. Cálculo de incertidumbres

Siguiendo estas indicaciones obtenemos la incertidumbre y el coeficiente de sensibilidad para cada una de las medidas realizadas:

| Punto | Día 1 | | Día 2 | | Día 3 | |
|-------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| | $U_{L'}(\text{dB})$ | $C_{L'}$ | $U_{L'}(\text{dB})$ | $C_{L'}$ | $U_{L'}(\text{dB})$ | $C_{L'}$ |
| 1 | 0.5 | 1.04 | 0.5 | 1.11 | 0.5 | 1.12 |
| 2 | 0.5 | 1.02 | 0.5 | 1.03 | 0.5 | 1.08 |
| 3 | 0.5 | 1.12 | 0.5 | 1.24 | 0.5 | 1.3 |
| 4 | 0.5 | 1.18 | 0.5 | 1.02 | 0.5 | 1.08 |
| 5 | 0.5 | 1.06 | 0.5 | 1.07 | 0.5 | 1.09 |
| 6 | 0.5 | 1.06 | 0.5 | 1.08 | 0.5 | 1.13 |
| 7 | 0.5 | 1.01 | 0.5 | 1.01 | 0.5 | 1.01 |
| 8 | 0.5 | 1.08 | 0.5 | 1.1 | 0.5 | 1.14 |
| 9 | 0.5 | 1.21 | 0.5 | 1.14 | 0.5 | 1.23 |
| 10 | 0.5 | 1.05 | 0.5 | 1.03 | 0.5 | 1.02 |
| 11 | 0.5 | 1.04 | 0.5 | 1.02 | 0.5 | 1.04 |
| 12 | 0.5 | 1.06 | 0.5 | 1.04 | 0.5 | 1.13 |
| 13 | 0.5 | 1.34 | 0.5 | 1.26 | 0.5 | 1.25 |

Tabla 7. Incertidumbre del sonómetro y coeficiente de sensibilidad.

6.2 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para el ruido residual

En el caso de este proyecto, la incertidumbre típica para el ruido residual viene marcada por la norma ISO 1996-2 de octubre de 2020:

$$u_{\text{res}} = 2 \text{ dB}$$

Para calcular el coeficiente de sensibilidad seguimos la fórmula indicada en la norma citada:

$$c_{\text{res}} = \frac{-10^{-0,1(L'-L_{\text{res}})}}{1 - 10^{-0,1(L'-L_{\text{res}})}}$$

6. Cálculo de incertidumbres

Una vez realizados los cálculos obtenemos los siguientes resultados:

| Punto | Día 1 | | Día 2 | | Día 3 | |
|-------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | U _{res} (dB) | C _{res} | U _{res} (dB) | C _{res} | U _{res} (dB) | C _{res} |
| 1 | 2 | -0.042 | 2 | -0.108 | 2 | -0.118 |
| 2 | 2 | -0.019 | 2 | -0.029 | 2 | -0.079 |
| 3 | 2 | -0.121 | 2 | -0.236 | 2 | -0.113 |
| 4 | 2 | -0.176 | 2 | -0.024 | 2 | -0.070 |
| 5 | 2 | -0.063 | 2 | -0.065 | 2 | -0.089 |
| 6 | 2 | -0.056 | 2 | -0.084 | 2 | -0.125 |
| 7 | 2 | -0.054 | 2 | -0.013 | 2 | -0.006 |
| 8 | 2 | -0.081 | 2 | -0.101 | 2 | -0.140 |
| 9 | 2 | -0.202 | 2 | -0.135 | 2 | -0.233 |
| 10 | 2 | -0.056 | 2 | -0.030 | 2 | -0.022 |
| 11 | 2 | -0.037 | 2 | -0.023 | 2 | -0.039 |
| 12 | 2 | -0.055 | 2 | -0.036 | 2 | -0.127 |
| 13 | 2 | -0.342 | 2 | -0.26 | 2 | -0.251 |

Tabla 8. Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para ruido residual.

6.3 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para la posición del micro

Ya que para las medidas el micrófono se situó a dos metros de cualquier pared, y a 1.5 m sobre la superficie del suelo, según la norma estaríamos en una ubicación de campo libre. Se trata de un lugar donde no existen superficies reflectantes distintas del suelo situado suficientemente cerca como para influir en el nivel de presión sonora.

Por lo tanto, siguiendo las indicaciones de la norma para este escenario, la incertidumbre típica y el coeficiente de sensibilidad son:

$$u_{loc} = 0 \text{ dB}$$

$$C_{loc} = 0$$

6.4 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para el tráfico rodado

La incertidumbre típica debida al tráfico rodado vendrá determinada tanto por el número de vehículos que circulan por hora, tanto como por el tipo de vehículos que se trate. Por lo tanto, se calculará siguiendo la fórmula:

$$u_{sou} \cong \frac{C}{\sqrt{n}} \text{ dB}$$

- n es el número de vehículos en una hora.
- C dependerá el tipo de tráfico de la vía.

6. Cálculo de incertidumbres

$$C = \begin{cases} \text{Mixto 10} \\ \text{Turismo 2.5} \\ \text{Pesados 5} \end{cases}$$

Por otro lado, el coeficiente de sensibilidad para el tráfico rodado viene marcado por la norma:

$$C_{\text{sou}} = 1$$

Teniendo en cuenta lo anterior, obtenemos los siguientes resultados:

| Punto | Todos los días | |
|-------|-----------------------------|------------------|
| | $U_{\text{sou}}(\text{dB})$ | C_{sou} |
| 1 | 0.44 | 1 |
| 2 | 0.47 | 1 |
| 3 | 0.65 | 1 |
| 4 | 0.49 | 1 |
| 5 | 0.27 | 1 |
| 6 | 0.52 | 1 |
| 7 | 0.71 | 1 |
| 8 | 1.02 | 1 |
| 9 | 1.02 | 1 |
| 10 | 0.51 | 1 |
| 11 | 0.78 | 1 |
| 12 | 1.25 | 1 |
| 13 | 0.67 | 1 |

Tabla 9. Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para tráfico rodado.

6.5 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad para condiciones meteorológicas

Cuando solo se realicen unas pocas mediciones a corto plazo, como es el caso de este proyecto, las condiciones meteorológicas han de ser favorables. Además, si la distancia de del receptor a la fuente es menor de 400 m, la incertidumbre típica y el coeficiente de sensibilidad son:

$$u_{\text{met,fav}} = 2 \text{ dB}$$

$$C_{\text{met}} = 1$$

6. Cálculo de incertidumbres

6.6 Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad de las medidas

Una vez que hemos obtenido todas las incertidumbres por separado, pasamos a calcular la incertidumbre típica total para cada una de las medidas realizadas. Para ello habrá que seguir la fórmula dada por la norma:

$$u(L_m) = \sqrt{\sum_1^n (c_j u_j)^2}$$

Por otro lado, habrá que hacer lo mismo para obtener el coeficiente de sensibilidad de cada una de las medidas, y la fórmula a seguir es:

$$c_{L_i} = \frac{\partial L}{\partial L_i} = 10 \lg(e) \frac{p_i \cdot 10^{L_i/10} \ln(10) \cdot 0,1}{p_1 10^{L_1/10} + p_2 10^{L_2/10} + \dots + p_n 10^{L_n/10}} = \frac{p_i 10^{L_i/10}}{\sum_{j=1}^n p_j \cdot 10^{L_j/10}}$$

Tras aplicar estas fórmulas, obtenemos los siguientes resultados:

| Punto | U(dB) día 1 | U(dB) día 3 | U(dB) día 3 | C día 1 | C día 2 | C3 día 3 |
|-------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|----------|
| 1 | 2.115 | 2.133 | 2.132 | 0.303 | 0.397 | 0.298 |
| 2 | 2.117 | 2.119 | 2.130 | 0.303 | 0.335 | 0.361 |
| 3 | 2.188 | 2.240 | 2.246 | 0.276 | 0.332 | 0.391 |
| 4 | 2.171 | 2.123 | 2.125 | 0.236 | 0.457 | 0.306 |
| 5 | 2.090 | 2.091 | 2.097 | 0.330 | 0.181 | 0.488 |
| 6 | 2.137 | 2.145 | 2.158 | 0.415 | 0.292 | 0.292 |
| 7 | 2.181 | 2.182 | 2.181 | 0.273 | 0.404 | 0.322 |
| 8 | 2.334 | 2.320 | 2.326 | 0.20 | 0.490 | 0.301 |
| 9 | 2.359 | 2.331 | 2.335 | 0.172 | 0.492 | 0.335 |
| 10 | 2.135 | 2.130 | 2.129 | 0.298 | 0.336 | 0.365 |
| 11 | 2.211 | 2.211 | 2.212 | 0.306 | 0.289 | 0.404 |
| 12 | 2.419 | 2.415 | 2.438 | 0.340 | 0.468 | 0.190 |
| 13 | 2.316 | 2.263 | 2.256 | 0.215 | 0.276 | 0.508 |

Tabla 10. Incertidumbre típica y coeficiente de sensibilidad de las medidas.

Por último, procedemos a calcular la incertidumbre típica para cada uno de los puntos, para ello consultando la norma obtenemos la fórmula:

$$u(L) = \sqrt{\sum_1^n (c_j u_j)^2}$$

6. Cálculo de incertidumbres

También obtendremos la incertidumbre expandida (probabilidad de cobertura del 95%), que será el resultado de multiplicar por dos el resultado de la operación anterior. Con estas consideraciones los datos obtenidos son:

| PUNTO | u (dB) | $u_{\text{expandida}}$ (dB) |
|-------|----------|-----------------------------|
| 1 | 1.24 | 2.48 |
| 2 | 1.23 | 2.46 |
| 3 | 1.3 | 2.6 |
| 4 | 1.28 | 2.56 |
| 5 | 1.29 | 2.58 |
| 6 | 1.25 | 2.5 |
| 7 | 1.27 | 2.54 |
| 8 | 1.42 | 2.84 |
| 9 | 1.45 | 2.9 |
| 10 | 1.23 | 2.46 |
| 11 | 1.29 | 2.58 |
| 12 | 1.48 | 2.96 |
| 13 | 1.4 | 2.8 |

Tabla 11. Incertidumbre típica e incertidumbre expandida asociada a los puntos de medida.

Con los resultados de las incertidumbres ya podemos expresar de manera completa los resultados de las mediciones con su incertidumbre asociada, $L+u$ que quedan de la siguiente manera:

| PUNTO | Medida experimental (dBA) |
|-------|---------------------------|
| 1 | 57.1 ± 2.5 |
| 2 | 66.4 ± 2.5 |
| 3 | 52.5 ± 2.6 |
| 4 | 64.1 ± 2.6 |
| 5 | 54.9 ± 2.6 |
| 6 | 63.8 ± 2.5 |
| 7 | 67.4 ± 2.5 |
| 8 | 54.2 ± 2.9 |
| 9 | 51.7 ± 2.9 |
| 10 | 64 ± 2.5 |
| 11 | 63.3 ± 2.6 |
| 12 | 55.9 ± 2.9 |
| 13 | 52.2 ± 2.8 |

Tabla 12. Resultados finales de las medidas experimentales con su incertidumbre expandida.

Se puede observar, que en ninguno de los puntos tenemos una incertidumbre superior a 3dBA, por lo que no encontramos ninguna incertidumbre excesivamente elevada. Por lo tanto, las medidas quedan validadas.

7. SIMULACIÓN DE LOS MAPAS DE RUIDO DE FAVARA

En este apartado se procede a realizar la simulación de los niveles de ruido, para ello se utilizará el software Predictor V2019.3 7810-C de SoftNoise GMB con el que se representa un modelo a escala de la zona del estudio. Mediante el uso del programa se predicen los niveles de presión sonora de Favara donde se realizaron las medidas. Cuando obtengamos los resultados de la simulación se compararán con los resultados obtenidos de las medidas in situ para ajustar el modelo de simulación y validar su fiabilidad.

Predictor ofrece la opción de diseñar distintos modelos en los que podremos diseñar el entorno en el que hemos realizado las medidas añadiendo todos los edificios, carreteras, parques, zonas verdes... necesarios para que el estudio acústico sea representado de la forma más fiel a la realidad. El programa también permite añadir a posteriori medidas correctoras para reducir los niveles sonoros excesivos, como pueden ser, por ejemplo, introducir barreras acústicas y volver a simular.

El software funciona calculando los niveles de ruido en toda la población generados por las distintas fuentes sonoras y los diferentes niveles de tráfico de las vías de circulación que afecten al entorno que estamos midiendo. Para ello tiene en cuenta factores como el tipo de suelo en el que nos encontramos, la altura de los edificios y posibles obstáculos que influyan en las medidas. Predictor también permite seleccionar la normativa con la que queramos trabajar, tanto nacionales como internacionales.

7.1 Normas de predicción

El software Predictor nos permite seleccionar entre distintas normas nacionales e internacionales para elegir la que se adapta al trabajo realizado. Las normas disponibles son las siguientes:

- 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).

Para este proyecto, siguiendo lo dictado por la normativa, la Ley estatal de ruido 37/2003 y su correspondiente Real Decreto 1513/2005, indican que el método recomendado para la predicción es el XPS/NMPB (Método francés de ruido de tráfico).

7. Simulación de los mapas de ruido de Favara

7.2 Introducción de datos en predictor

Lo primero será importar un mapa de la población de Favara, sobre el que se trabajará. En este caso se obtendrá de Google Maps una captura de la zona de Favara (ver Figura 19), donde se ven indicadas todas las carreteras y edificios:

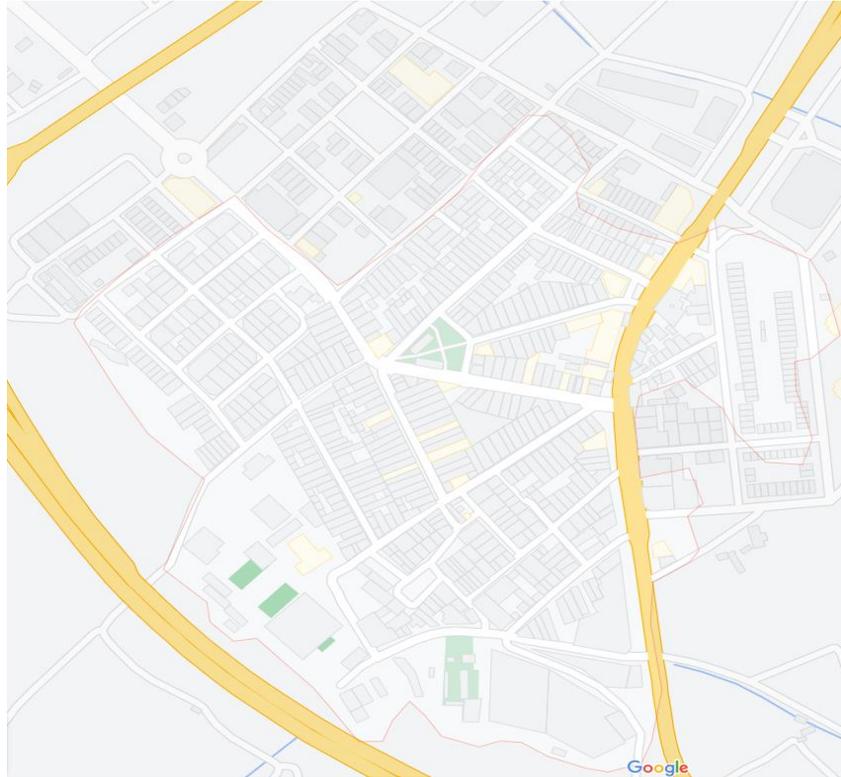


Figura 19. Mapa de Favara.

Con el mapa cargado en el programa, procederemos a introducir todos los elementos necesarios para la simulación:

- **Carreteras:** Se trazan las carreteras en las que se han realizado medidas, y de las cuales se han obtenido los datos de tráfico. En las opciones de cada carretera se introduce el tipo de material de la carretera, los datos del caudal de tráfico por cada hora de cada tipo de vehículo en cada período de medida y la velocidad en kilómetros por hora de estos.
- **Edificios:** Se dibuja el contorno de cada uno de los edificios en el mapa, y dentro de las opciones se seleccionará la altura de cada uno basándose en el número de plantas.
- **Zonas verdes:** se marcan las zonas verdes existentes en la zona y se indica el coeficiente de absorción en 1.
- **Receptores:** Se marcan los receptores en cada uno de los puntos en los que se realizaron medidas “in situ”. La altura del receptor se establece en 1.5 m, la misma altura a la que se colocó el micrófono del sonómetro.

7. Simulación de los mapas de ruido de Favara

• **Malla:** Se dibuja una malla por toda la zona de estudio. Con una resolución de 5 m x 5 m, dando un total de 17622 puntos. La malla se sitúa a una altura de 1.5 m sobre el suelo.

Se ha realizado el modelado el ruido de tráfico con las siguientes características:

- Las vías de circulación se van a modelar con fuentes lineales y se dibujan en el modelo de cartografía introducido en Predictor.
- Se han introducido las trayectorias de las calles y carreteras más importantes
- Se ha llevado a cabo un aforo del número de vehículos ligeros y pesados en cada una de las vías, tanto en periodo diurno como nocturno.
- La velocidad de los vehículos introducida será la máxima permitida en la vía considerada.

Otras características importantes para determinar las fuentes de ruido:

Tipo de calzada: Asfalto o cemento

Flujo de tráfico: Urbano en la población y Carretera para la CV-510.

Pendiente de la vía: menor del 2%

Tras haber introducido todos estos elementos el mapa quedará de la siguiente forma:



Figura 20. Modelo de simulación de la población de Favara.

7. Simulación de los mapas de ruido de Favara

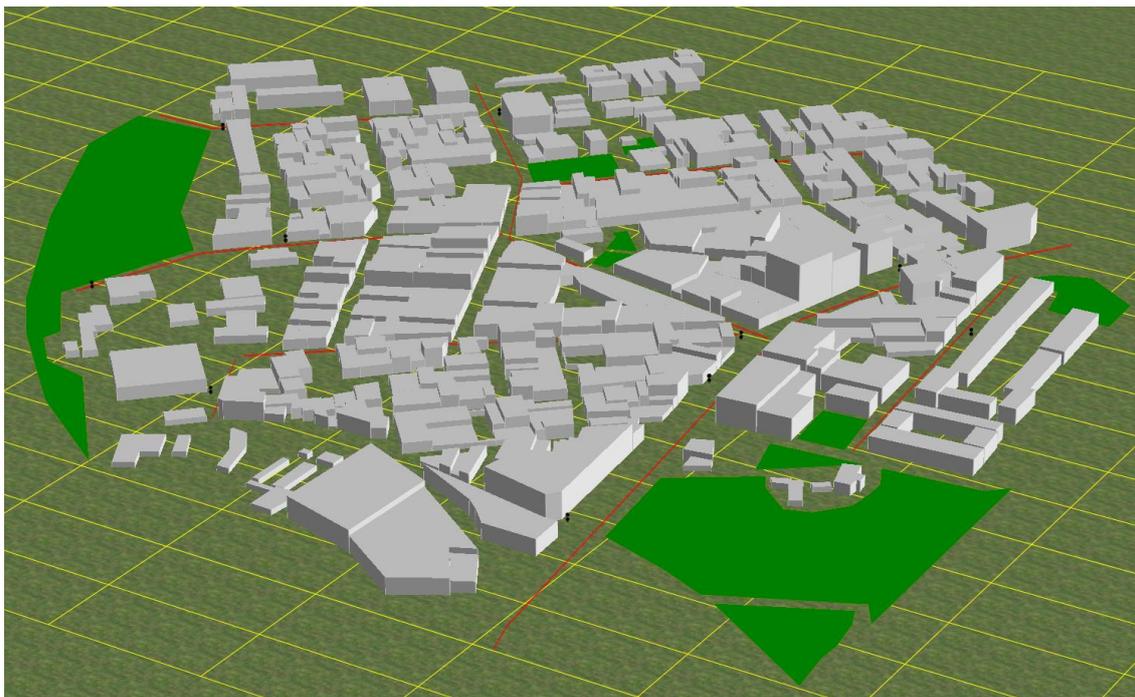


Figura 21. Modelo de simulación en 3D de la población de Favara.

Una vez introducidos todos los datos, el programa está listo para realizar la simulación.

7.3 Resultados de la simulación

Al finalizar la simulación, obtenemos los niveles de ruido de cada uno de los puntos de medida (ver figura 5) para el periodo diurno y nocturno, que vienen recogidos en la tabla 13. Por otro lado, obtenemos dos mapas de ruido en los que por medio de colores se indican las zonas más afectadas por el ruido. El primer mapa (Figura 22) corresponde al periodo de día mientras que el segundo mapa (Figura 23) corresponde al periodo de noche. Los mapas incluyen una leyenda donde se puede ver el nivel sonoro (en dBA) de cada uno color representado.

| Punto | L _{Aeq} día (dBA) | L _{Aeq} noche(dBA) |
|-------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 57.9 | 46.1 |
| 2 | 66.5 | 58.3 |
| 3 | 54.3 | 46.4 |
| 4 | 65.1 | 57.1 |
| 5 | 56.4 | 48.4 |
| 6 | 66.9 | 59 |
| 7 | 65.6 | 58.5 |
| 8 | 54.1 | 37.2 |
| 9 | 55.1 | 40 |
| 10 | 63 | 54.7 |
| 11 | 62.6 | 54.2 |
| 12 | 58.4 | 45.5 |
| 13 | 52.1 | 45.3 |

Tabla 13. Nivel sonoro equivalente simulado para los periodos día y noche para cada uno de los puntos de medida.

7. Simulación de los mapas de ruido de Favara

Mapa Laeq día Favara

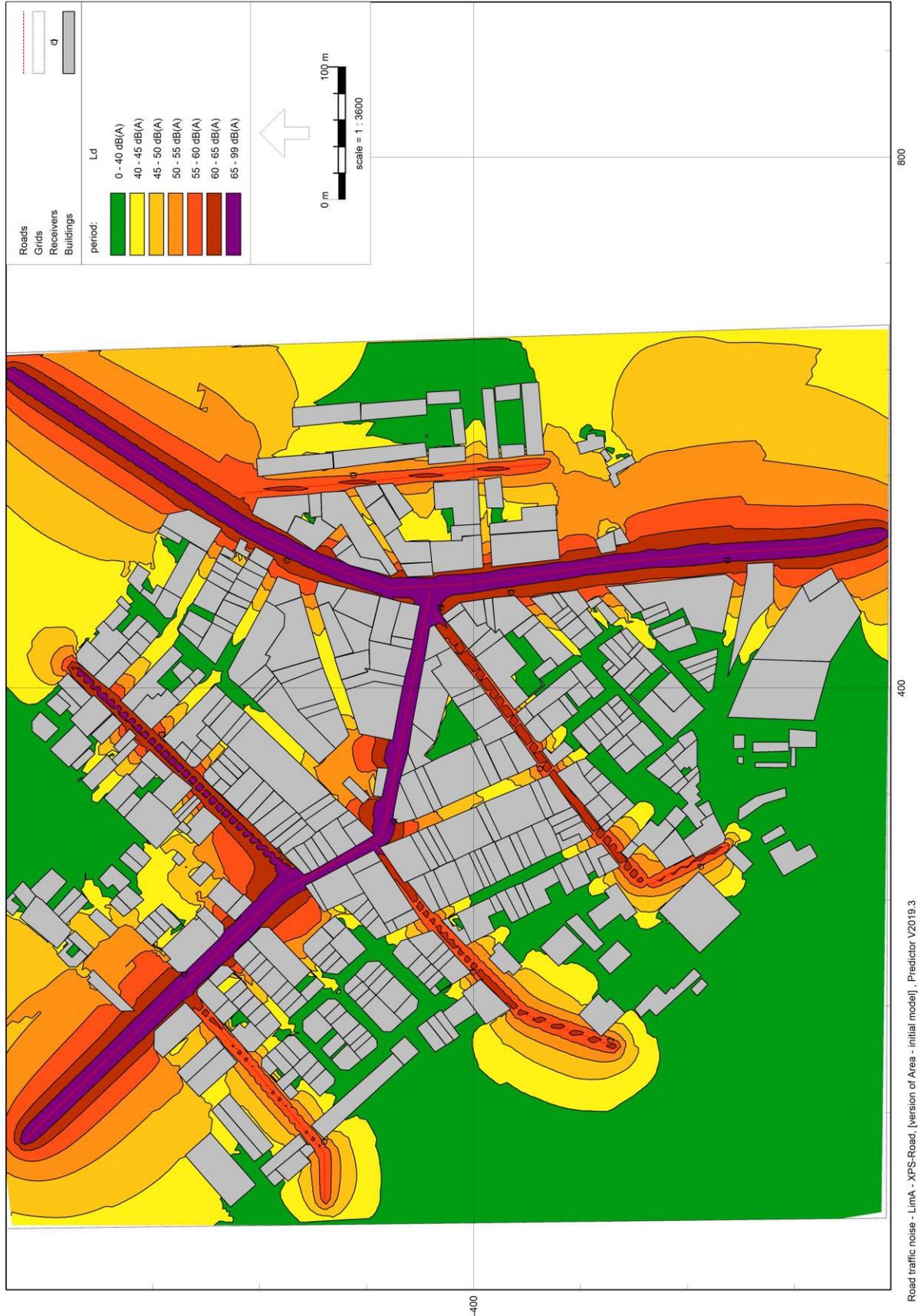


Figura 22. Mapa de ruido durante el día.

7. Simulación de los mapas de ruido de Favara

Mapa Laeq noche Favara

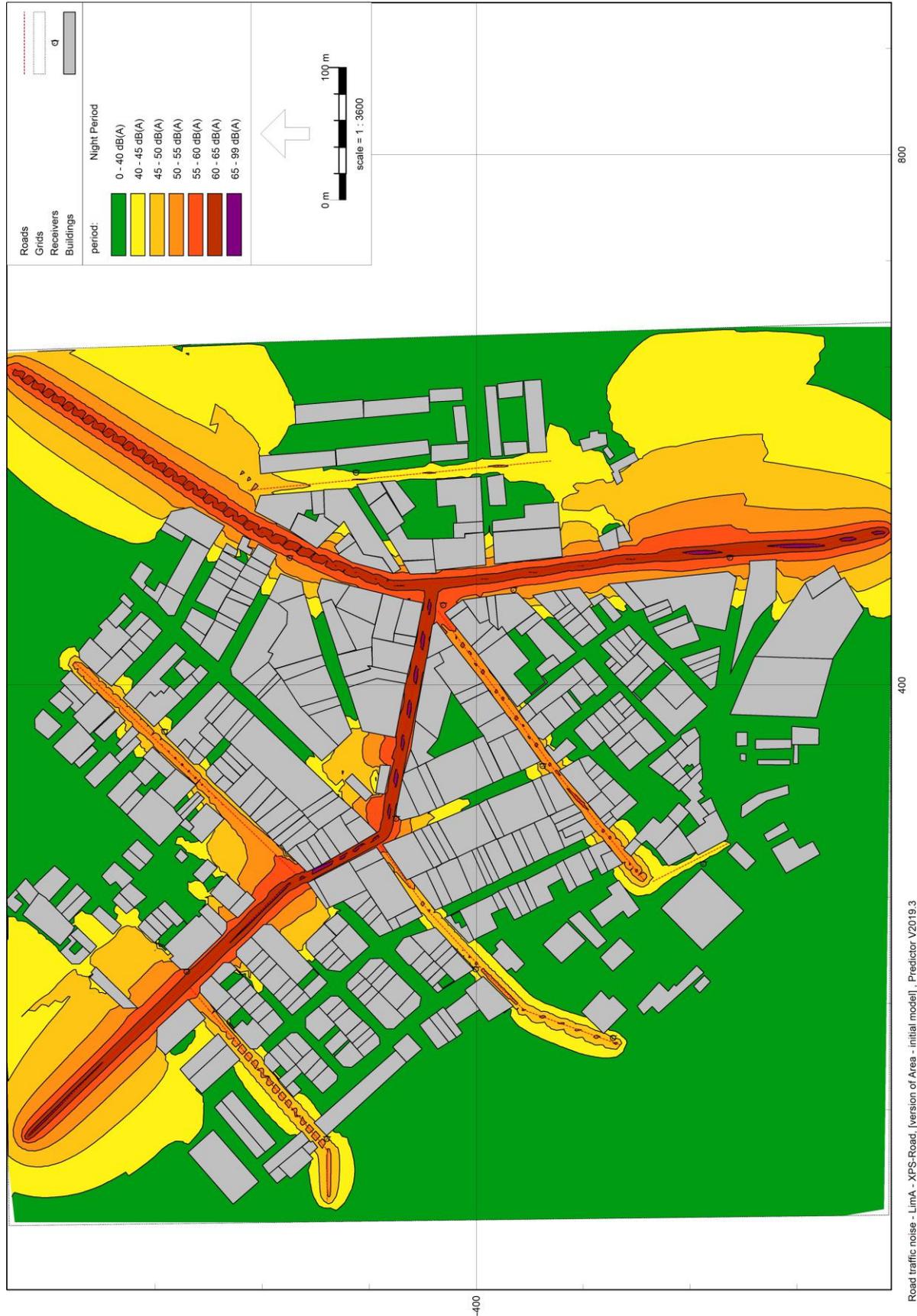


Figura 23. Mapa de ruido durante la noche.

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez que tenemos todos los datos necesarios, tanto las medidas in situ como los resultados de la simulación, procedemos a su comparación y de ese modo a validar el modelo de simulación. Acto seguido pasaremos a analizar si los resultados obtenidos cumplen con las legislaciones pertinentes.

8.1 Comparación de los resultados

Se van a comparar los resultados obtenidos de las medidas in situ, y los datos obtenidos de la simulación, solo para el periodo diurno, ya que en el nocturno no se pudieron realizar mediciones. Hay que tener en cuenta, que las medidas se realizan en un ámbito no controlado al aire libre, donde existen muchos factores que pueden alterar las medidas de ruido in situ y no se pueden simular con exactitud. Por lo que toleramos una diferencia de 3 dBA, entre los resultados de las medidas in situ y las simulaciones. En la *Tabla 13* podemos observar los datos obtenidos en las medidas y la simulación, así como la diferencia en dBA.

| Punto | Medida In Situ (dBA) | Simulación (dBA) | Diferencia (dBA) |
|-------|----------------------|------------------|------------------|
| 1 | 57.1 | 57.9 | 0.8 |
| 2 | 66.4 | 66.5 | 0.1 |
| 3 | 52.5 | 54.3 | 1.8 |
| 4 | 64.1 | 65.1 | 1 |
| 5 | 54.9 | 56.4 | 1.5 |
| 6 | 63.8 | 66.9 | 3.1 |
| 7 | 67.4 | 65.6 | 1.8 |
| 8 | 54.2 | 54.1 | 0.1 |
| 9 | 51.7 | 55.1 | 3.4 |
| 10 | 64.1 | 63 | 1.1 |
| 11 | 63.3 | 63.2 | 0.1 |
| 12 | 55.9 | 58.4 | 2.5 |
| 13 | 52.2 | 52.1 | 0.1 |

Tabla 14. Comparativa de los resultados de las medidas "in situ" y los obtenidos por simulación.

Para verla comparación de manera más visual se presenta una gráfica (ver Figura 24) con la comparativa de los datos:

8. Análisis de los resultados

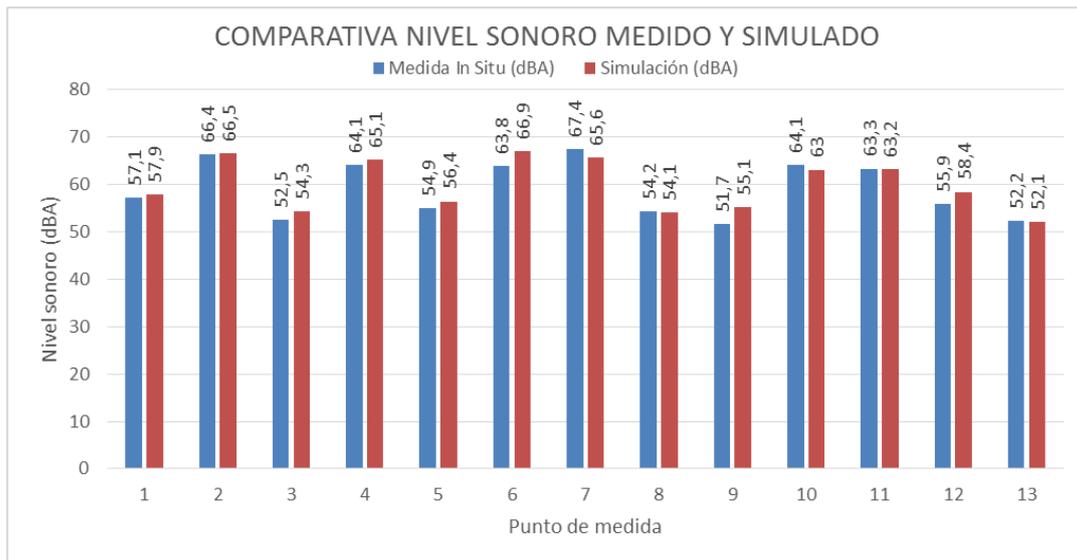


Figura 24. Comparativa de los niveles sonoros medidos y simulados.

Una vez vista la comparativa, procedemos a validar el método de simulación, para ello se realiza un ajuste lineal entre ellos, si el factor de correlación r es cercano a la unidad, el modelo es válido.

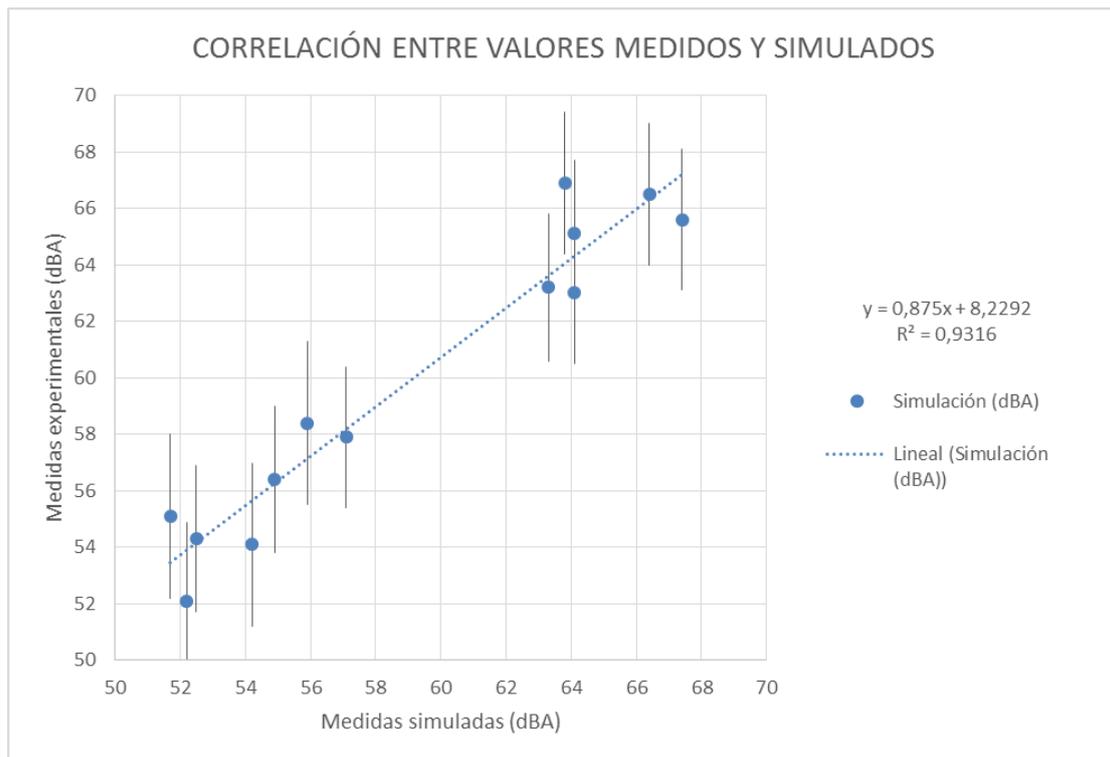


Figura 25. Correlación entre valores medidos y simulados.

En la anterior gráfica (ver Figura 25) observamos que la dependencia entre los valores obtenidos en las mediciones in situ y los simulados es directa ($r=0,96$), por tanto, el modelo de simulación es válido.

Con los resultados comparados, observamos la diferencia entre las medidas y todas entran dentro de unos márgenes razonables, ninguna supera una diferencia de 3 dBA a excepción de los puntos 6 y 9. En el punto 6, solo supera por 0.1 dBA, que puede ser debido a alguna pequeña

8. Análisis de los resultados

incidencia durante la simulación. El punto 9 supera el límite por 0.4 dBA, este es un punto en una zona con muy baja densidad de tráfico, solo 6 vehículos ligeros por hora, y lógicamente el modelo de tráfico que utilizamos para la simulación presenta una mayor incertidumbre.

A la vista de los resultados de la tabla 13 podemos dar por validado nuestro modelo de simulación.

8.2 Comparativa de los resultados con estudio anterior

En 2014 se realizó un estudio acústico en la población de Favara [17], desde entonces se han aplicado ciertas medidas para tratar de reducir el impacto de ruido provocado por el tráfico en la población. Principalmente, se construyó un desvío exterior a la población, para desviar parte del tráfico que atravesaba directamente Favara por la carretera N-322.

En este apartado, se van a comparar los datos experimentales obtenidos en el estudio de 2014, previos a la construcción del desvío, y los datos obtenidos en este nuevo estudio. De esta forma se comprobará si la construcción de esta variante ha tenido un impacto significativo.

Los datos de ambos estudios vienen reflejados en la siguiente tabla (ver Tabla 14):

| Punto | L _{Aeq} (dBA) 2022 | L _{Aeq} (dBA) 2014 | Diferencia (dBA) |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | 57.1 | 55.4 | + 1.7 |
| 2 | 66.4 | 67.9 | -1.5 |
| 3 | 52.4 | 54.6 | -2.2 |
| 4 | 64.1 | 68 | -3.9 |
| 5 | 54.9 | 56.6 | -1.7 |
| 6 | 63.8 | 66.5 | -2.7 |
| 7 | 67.4 | 72.6 | -5.2 |
| 8 | 54.2 | 60.5 | -6.3 |
| 9 | 51.7 | 55 | -3.3 |
| 10 | 64 | 68.9 | -4.9 |
| 11 | 63.3 | 69.6 | -6.3 |
| 12 | 55.9 | 52.9 | + 3.0 |
| 13 | 52.2 | 52.4 | -0.2 |

Tabla 15. Comparativa de los resultados actuales con los del estudio anterior.

Tras comparar los datos vemos que en la mayoría de puntos se aprecia una disminución significativa de los niveles de ruido, por lo que las medidas tomadas para la reducción de la contaminación acústica han resultado efectivas.

Los únicos puntos en los que se observa un empeoramiento, puntos 1 y 12, están situados en zonas alejadas de las principales fuentes de ruido continuas y donde los niveles de ruido son relativamente bajos. La posible causa es que al tratarse de medidas puntuales de corto plazo cualquier ruido de un nivel superior a lo normal ha podido influir en los resultados.

8. Análisis de los resultados

8.3 Cumplimiento de la normativa

A continuación, se procede a comprobar si los datos obtenidos de las mediciones cumplen con las normativas estatales y autonómicas. Para la normativa estatal seguiremos los niveles indicados en la Ley 37/2003 de ruido. Por otro lado, para la normativa autonómica seguiremos los objetivos de calidad acústica marcados por la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana. Para nuestro caso, se van a considerar los niveles máximos permitidos cuando existe predominio de uso sanitario y predominio de uso residencial, ya que son los dos casos que vamos a encontrar.

En primer lugar, vamos a comprobar si se cumple la normativa para los resultados de las mediciones hechas durante el día.

Los niveles máximos permitidos que se deben cumplir en la Ley 37/2003 de ámbito nacional para el período diurno serán:

- Predominio de suelo de uso sanitario y docente 60 dBA.
- Predominio de suelo de uso residencial 65 dBA.
- Predominio de suelo de uso industrial 75 dBA

En cuanto a los niveles máximos permitidos en la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana en el período diurno serán:

- Predominio de suelo de uso sanitario y docente 45 dBA.
- Predominio de suelo de uso residencial 55 dBA.
- Predominio de suelo de uso industrial 70 dBA.

En la siguiente tabla (ver Tabla 16) se comprueba que puntos cumplen con la normativa durante el día:

| Punto | Tipo de suelo | L _{Aeq} (dBA) | Cumplimiento de la normativa | |
|-------|---------------|------------------------|------------------------------|------------|
| | | | Estatal | Autonómica |
| 1 | Docente | 57.1 + 2.5 | Sí | No |
| 2 | Residencial | 66.4 + 2.5 | No | No |
| 3 | Residencial | 52.5 + 2.6 | Sí | Sí |
| 4 | Residencial | 64.1 + 2.6 | Sí | No |
| 5 | Residencial | 54.9 + 2.6 | Sí | Sí |
| 6 | Residencial | 63.8 + 2.5 | Sí | No |
| 7 | Industrial | 67.4 + 2.5 | Sí | Sí |
| 8 | Residencial | 54.2 + 2.8 | Sí | Sí |
| 9 | Residencial | 51.7 + 2.9 | Sí | Sí |
| 10 | Sanitario | 64 + 2.6 | No | No |
| 11 | Residencial | 63.3 + 2.6 | Sí | No |
| 12 | Residencial | 55.9 + 2.9 | Sí | No |
| 13 | Docente | 52.2 + 2.8 | Sí | No |

Tabla 16. Verificación de los objetivos de calidad acústica en periodo diurno para las leyes estatal y autonómica.

Como se dijo, en este proyecto, debido a medidas de seguridad no se pudieron realizar medidas durante la noche. Pero por medio de la simulación se consiguen los datos de los niveles sonoros por la noche. Con estos datos se procederá a verificar si se cumplen los objetivos de calidad acústica que exige la legislación estatal y autonómica durante el periodo nocturno

8. Análisis de los resultados

Los niveles máximos permitidos que se deben cumplir en la Ley 37/2003 de ámbito nacional para el período nocturno serán:

- Predominio de suelo de uso sanitario y docente 50 dBA.
- Predominio de suelo de uso residencial 55 dBA.
- Predominio de suelo de uso industrial 65 dBA

En cuanto a los niveles máximos permitidos en la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana en el período nocturno serán:

- Predominio de suelo de uso sanitario y docente 35 dBA.
- Predominio de suelo de uso residencial 45 dBA.
- Predominio de suelo de uso industrial 60 dBA.

En la siguiente tabla (ver Tabla 17) se comprueba que puntos cumplen con la legislación por la noche:

| Punto | Tipo de suelo | L _{Aeq,sim} (dBA) | Cumplimiento de la normativa | |
|-------|---------------|----------------------------|------------------------------|------------|
| | | | Estatal | Autonómica |
| 1 | Docente | 46.1 | Sí | No |
| 2 | Residencial | 58.3 | No | No |
| 3 | Residencial | 46.4 | Sí | No |
| 4 | Residencial | 57.1 | No | No |
| 5 | Residencial | 48.4 | Sí | No |
| 6 | Residencial | 59 | No | No |
| 7 | Industrial | 58.5 | Sí | Sí |
| 8 | Residencial | 37.2 | Sí | Sí |
| 9 | Residencial | 40 | Sí | Sí |
| 10 | Sanitario | 54.7 | No | No |
| 11 | Residencial | 54.2 | Sí | No |
| 12 | Residencial | 45.5 | Sí | No |
| 13 | Docente | 45.3 | Sí | No |

Tabla 17. Verificación de los objetivos de calidad acústica en periodo nocturno para las leyes estatal y autonómica.

A la vista de los resultados, observamos que para la ley autonómica no se cumplen los niveles sonoros en la mayoría de los puntos para el periodo nocturno, y se cumple en muy pocos para el periodo diurno. Dependiendo de la ley que tomemos como referencia, nos encontraremos en régimen de legalidad o no. En nuestro caso rige la ley Autonómica

8. Análisis de los resultados

8.4 Plan acústico de acción autonómica

Según el artículo 20, de la ley 7/2003 de 3 de diciembre, se elaborará el Plan Acústico de Acción Autonómica, que será aprobado por el Consell de la Generalitat mediante Acuerdo, con 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.
- b) Regulación del tráfico rodado.
- c) Programas de minimización de la producción y transmisión de ruidos.
- d) Establecimiento de sistemas de control de ruidos.
- e) Cualesquiera otras que se consideren adecuadas para reducir los niveles de ruido.

A continuación, se presentan una serie de mejoras aplicables a algunos puntos del contenido que debería tener un plan Acústico Municipal real.

8.4.1 Regulación del tráfico rodado

Medida 1, desviar el tráfico de la carretera CV-510: Como se ha observado en este estudio el desvío del tráfico de la carretera N-322 ha supuesto una disminución considerable de los niveles de ruido, con bajadas de hasta 6 dBA en algunos puntos. Por lo que se propone que se realice un estudio para la construcción de otra carretera, externa a la población, para desviar el caudal de tráfico de la carretera CV-510. De esta manera, se observaría otra reducción importante de los niveles de ruido, y los niveles sonoros en la población se acercarían a los exigidos por la legislación autonómica.

Medida 2, fomentar el transporte público y a pie: Favara es una población poco extensa, 9.4 km², por lo que los trayectos entre los distintos puntos de la población son cortos. Por tanto, hay que concienciar a la población para que se desplacen a pie, evitando el uso de coche, que contribuye al aumento del ruido. También, es conveniente fomentar el uso del transporte público para moverse a otras poblaciones cercanas a Favara. Aunque en este punto hace falta que las administraciones públicas se impliquen e inviertan fondos en la creación de esa red de transporte. A día de hoy es escasa o inexistente.

8.4.2 Programas de minimización de la producción y transmisión de ruidos

Medida 1, reducción de los límites de velocidad en las vías principales e instalación de asfalto fonoabsorbente: Puesto que las dos fuentes principales de ruido de la población son las carreteras CV-510 y N-322, una reducción en la velocidad permitida supondrá una reducción en los niveles de Ruido. La carretera N-322, además, pasa por delante del centro de salud de Favara, zona que ha de ser más protegida ante el ruido, por lo que el límite de velocidad se reduciría de forma más severa de ser necesario. No se deberán incluir bandas sonoras, ya que a pesar de ser

8. Análisis de los resultados

medidas útiles para obligar a reducir la velocidad, generalmente aumentan el ruido de los coches a su paso. Por otro lado, mediante el uso de asfalto que pueda absorber parte del ruido del tráfico rodado, se conseguirá una reducción considerable en los niveles de contaminación.

Medida 2, mantenimiento de las vías de la población: Se propone, tomar las medidas para empezar un plan de mantenimiento del asfalto de las carreteras de la población. De esta manera se conseguirá evitar la aparición de imperfecciones (baches, socavones, agujeros...) en el asfalto, que provocan el aumento de ruido por el tráfico rodado.

Medida 3, concienciación ciudadana sobre el ruido: se propone iniciar una campaña informativa, para advertir a la población, de los peligros que supone la contaminación acústica para la salud y la vida diaria. Así como informar de cómo pueden contribuir a la prevención de la generación de ruido. También será importante, dar charlas sobre el tema en la escuela de Favara, para concienciar también a la población más joven.

8.4.3 Establecimiento de sistemas de control de ruido

Medida 1, mantener un control de las medidas aplicadas para la reducción de ruido: una vez realizadas las medidas para la reducción de la contaminación acústica, es importante realizar un seguimiento periódico sobre los niveles de ruido. De esta forma se puede determinar si las medidas están siendo efectivas, o es necesario tomar otras medidas.

Medida 2, control de los vehículos que producen exceso de ruido: Realizar más controles del ruido producido por los vehículos, en las inspecciones técnicas de estos. Habría que tomar medidas para sancionar a aquellos vehículos que no cumplan con la emisión de ruidos determinadas por la normativa. Aunque este punto ya se controla en las inspecciones técnicas de vehículos (ITV) que se realiza periódicamente sobre todos los vehículos.

8.4.4 Otras acciones para reducir el ruido

Medida 1, creación de nuevas zonas verdes y actualización de las existentes: las zonas verdes ayudan a la absorción de ruido, por lo que sería adecuado tratar de construir nuevas zonas verdes, como parques, cerca de los principales focos de ruido. En las zonas verdes que ya existen hay que promover el verde literal (no el gris asfalto) por sus características absorbentes.

9. CONCLUSIONES

Conclusión 1: Tras comprobar los resultados de los valores medidos y los simulados, podemos ver que, con los valores adecuados de caudal de tráfico, límites de velocidad, tipo de suelo, edificios, zonas verdes etc... que reflejan la realidad de manera fiel, se pueden obtener resultados con diferencias poco significativas a las medidas reales. Por lo que se concluye que el programa de simulación predictor, gracias a su precisión, es una herramienta muy útil para la realización de estudios acústicos.

Conclusión 2: Tras ver los resultados de las mediciones, comprobamos que, durante el día, los niveles establecidos por la Ley 37/2003 de 17 de noviembre, del ruido se cumplen en casi todos los puntos a excepción de los puntos 2 (66.4 dBA) y 10 (64 dBA). El punto 10 es especialmente preocupante debido a que se trata de suelo de carácter docente, y nos encontramos un nivel de 19 dBA por encima de lo permitido en la normativa. El punto 2, de tipo de suelo residencial, se encuentra 1.4 dBA por encima de lo permitido. Por otro lado, para los niveles de noche la situación es algo peor siendo cuatro los puntos (2, 4, 6, 10) que no cumplen la normativa. Aunque hay que recordar que no se pudieron hacer las mediciones In Situ por la noche, y todos los datos para la simulación están basados en estimaciones. Los resultados podrían variar.

Conclusión 3: Tras ver los resultados de las mediciones, podemos ver que durante el día los niveles sonoros establecidos en la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, al ser muchos más estrictos, no se cumplen en la mayoría de los puntos, solo en cinco de los trece. En el caso de los niveles sonoros para la noche, la situación empeora más, siendo solo tres los puntos que cumplen la normativa, de los trece medidos. Por lo tanto, la población de Favara estará considerada una población con niveles de ruido demasiado elevados en la Comunidad Valenciana.

Conclusión 4: Al comparar los datos recabados en este estudio con los datos obtenidos en 2014, podemos afirmar que el desvío construido para evitar parte del tráfico que atravesaba la población de Favara ha resultado eficaz. Al comparar los datos vemos que las diferencias son significativas en la mayoría de los puntos, llegando a encontrar mejoras de hasta 6 dBA en algunos puntos. Por lo que se concluye que las medidas para reducir el tráfico de las zonas urbanas son una gran medida para la reducción de la contaminación acústica.

Conclusión 5: A pesar de obtener mejoras significativas en los niveles de contaminación acústica de la población, las carreteras CV-510 y N-322 siguen siendo fuentes importantes de ruido que contribuyen de manera significativa al incumplimiento de la ley autonómica 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana. Observando los resultados de los puntos 1 (57.1 dBA) y 3 (52.5 dBA), que cubren el paso de la autopista AP-7 por Favara, vemos que tienen niveles similares a zonas alejadas de las principales fuentes de ruido, como es el caso del punto 5 (54.9 dBA). Por lo que podemos concluir que el ruido de fondo de la autopista AP-7, no afecta de forma significativa al ruido de la población, al estar fuera de la población en una posición elevada y en gran parte apantalla al transcurrir la AP-7 en trinchera.

Conclusión 6: Considerando todos los datos, la conclusión final que sacamos es que se debería actualizar el Plan Acústico Municipal de la población Favara para tratar de seguir reduciendo los niveles sonoros de la población que aún son muy elevados. De esta manera buscar cumplir a corto plazo los objetivos de calidad acústica establecidos en la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DGT. El ruido sobre ruedas <<https://revista.dgt.es/es/reportajes/2016/05MAYO/0517-El-ruido-del-trafico.shtml>> [Consulta: 15/04/22]
- [2] Avelino Martínez Sandoval. Ruido por tráfico urbano: Conceptos, medidas descriptivas y valoración económica.
- [3] Yerai Lozano Jaimes. Insonorización de una prensa mecánica. <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79288/MEMORIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [Consulta: 15/04/22]
- [4] Norma UNE ISO 226:2013. Acústica. Líneas isofónicas normales.
- [5] SEORL CCC. ¿Qué efectos causa el ruido en la salud auditiva? <<https://seorl.net/efectos-ruido-salud-auditiva/#:~:text=El%20nivel%20de%20ruido%20recomendado,hay%20riesgo%20de%20p%C3%A9rdida%20inmediata.>>> [Consulta: 16/04/22]
- [6] Libro blanco sobre los efectos del ruido ambiental en la sociedad y su percepción por parte de la ciudadanía.
- [7] Ecodes. El Informe “Ruido y Salud” se presenta con motivo del Día Mundial contra el Ruido. <<https://archivo.ecodes.org/web/noticias/el-informe-ruido-y-salud-se-presenta-con-motivo-del-dia-mundial-contra-el-ruido#:~:text=%E2%80%9CLa%20Comisi%C3%B3n%20Europea%20de%20la,equivalentes%20de%20vida%20saludable%20no>> [Consulta: 15/04/22]
- [8] THE UNIVERSITY OF PITTSBURGH. Archive of European Integration (AEI)The Green Paper on Future Noise Policy. COM (96), 540 final ,04 November 1996.
- [9] DIRECTIVA 2002/49/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002.
- [10] BOE, 276. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. España, 2003.
- [11] BOE, 254. Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. España, 2007.
- [12] BOE, 301. Real Decreto 1513/2005, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. España, 2005.
- [13] DOGV. Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de protección contra la contaminación acústica. Valencia, 2002.
- [14] DOGV, Decreto 266/2004, de 3 de diciembre. Valencia, 2004.
- [15] Ayuntamiento de Favara <<https://www.ayuntamiento-espana.es/ayuntamiento-favara.html>> [Consulta: 16/04/22]
- [16] Norma española UNE-ISO 1996-2. Acústica, medición y evaluación del ruido ambiental. Octubre de 2020.

- [17] Miriam Núñez Sánchez. Plan acústico municipal de la población de Favara. TFG UPV. 2014
- [18] Gema González Mazarías. Investigación sobre el ruido ambiental en el Centro Histórico de Gandía. TFG UPV 2019.
- [19] Álvaro Ferrer Claver. Evaluación de la contaminación acústica del Hospital Francesc de Borja de Gandía. TFG UPV 2020.
- [20] Gobierno de España. Contaminación Acústica. <<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion-acustica/>> [Consulta: 16/04/22].
- [21] Antonio Gil Fisa, Pablo Luna Mendaza. NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos.
- [22] Hispasonic. Presión sonora y sonoridad. <<https://www.hispasonic.com/tutoriales/presion-sonora-sonoridad-iii-curvas-isofonicas-fletcher-munson-ponderacion-b-c-k/43351>> [Consulta: 18/04/22].
- [23] OMS. Nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición. <<https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>> [Consulta 21/04/22]
- [24] Studio22. Curvas Fletcher-Munson. <<https://www.studio-22.com/blog/enciclopedia/curvas-fletcher-munson>> [Consulta 15/04/22]
- [25] Studio22. Ponderación D. <<https://www.studio-22.com/blog/enciclopedia/curvas-fletcher-munson>> [Consulta 15/04/22]
- [26] Educa-ciencia. El sonido <<https://educa-ciencia.com/sonido/>> [Consulta 16/04/22]
- [27] Macústica. En que consiste la acústica ambiental <<https://macustica.com/en-que-consiste-la-acustica-ambiental/#:~:text=En%20lo%20que%20respecta%20a,personas%20y%20en%20la%20natural eza.>> [Consulta 15/04/22]