

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA DE LA POBLACIÓN DE VILLALONGA”

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Autor:

Lucas Damián Todarello

Tutores:

Juan Antonio Martínez Mora

Dídac Diego Tortosa

Gandia, 2021

RESUMEN

El ruido se considera como un problema local, el cual influye de manera negativa en la vida cotidiana de la ciudadanía. La Unión Europea, a través de la normativa específica, pretende regular el ruido producido por las actividades humanas. Entre las posibles fuentes de contaminación acústica se encuentra el tráfico rodado. En este proyecto se realiza un estudio actual sobre la exposición al ruido generado por el tráfico de vehículos en el municipio de Villalonga. Para ello, se han calculado y evaluado los niveles de ruido de las principales vías de forma experimental, y de forma simulada se ha reproducido el correspondiente mapa de ruido. Los resultados obtenidos han sido comparados con los niveles máximos permitidos por la legislación vigente (tanto estatal como autonómica), concluyendo con el cumplimiento en horario diurno de la regulación estatal en todas las zonas, previamente definidas, menos en el punto P09 que supera mínimamente el nivel máximo establecido, y el incumplimiento de la legislación autonómica en las áreas residenciales. Por último, en base a los resultados evaluados se proponen diferentes medidas correctoras, con el fin de reducir los niveles de ruido en los casos más problemáticos.

PALABRAS CLAVE

Contaminación acústica, Mapa de ruido, Tráfico rodado, Villalonga.

ABSTRACT

Noise is considered a local problem, which has a negative influence on the daily life of citizens. The European Union, through specific regulations, aims to regulate the noise produced by human activities. Among the possible sources of noise pollution is road traffic. This project studies the current situation about the exposure to noise generated by road traffic in the municipality of Villalonga. The noise levels of the main roads have been experimentally calculated and evaluated, and the corresponding noise map has been developed in a simulated way. The results obtained have been compared with the maximum levels allowed by current legislation, concluding with daytime compliance with state regulation in all areas, previously defined, except at point P09, which minimally exceeds the maximum level established, and non-compliance with regional legislation in residential areas. Finally, based on the evaluated results, different measures are proposed to reduce noise levels in the most problematic cases.

KEYWORDS

Noise pollution, Noise map, Road traffic, Villalonga.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	5
2.1. FUNDAMENTOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	5
2.1.1. CALIDAD ACÚSTICA	5
2.1.2. MAGNITUDES ACÚSTICAS SIGNIFICATIVAS EN ACÚSTICA AMBIENTAL	5
2.1.3. ÍNDICES PARA LA EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL	8
2.2 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA SOBRE LA SALUD	10
3. LEGISLACIÓN REGULADORA DEL RUIDO	11
3.1. LEGISLACIÓN ESTATAL	12
3.2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA	13
4. ESTUDIO Y REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS	16
4.1. ZONA DE ESTUDIO	16
4.2. ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA	17
4.3. INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA	20
4.4. PROCEDIMIENTO EN LA REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS	21
5. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS	22
5.1 CAUDAL DE VEHÍCULOS	22
5.2 NIVEL SONORO EQUIVALENTE	22
6. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES EN LAS MEDIDAS	23
6.1. INCERTIDUMBRE DEBIDA A LA INSTRUMENTACIÓN	24
6.2. INCERTIDUMBRE DEBIDA A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN	26
6.3. INCERTIDUMBRE DEBIDA AL CLIMA Y AL SUELO	27
6.4. INCERTIDUMBRE DEBIDA AL SONIDO RESIDUAL	28
6.5. INCERTIDUMBRE COMBINADA Y EXPANDIDA	29
7. SIMULACIÓN MEDIANTE PREDICTOR	31
7.1. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN PREDICTOR	31
7.2. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	32
7.3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	35
7.4. CUMPLIMIENTO DE LAS NORMATIVAS	40
8. CONCLUSIONES	41
9. PROPUESTA DE MEJORA	42
BIBLIOGRAFIA	44

1. INTRODUCCIÓN

El ruido, considerado como un sonido indeseado y molesto por el ser humano es causa de preocupación en la actualidad por sus efectos sobre la salud, debido a las consecuencias físicas, psíquicas y sociales que conlleva. Por ello, el ruido es considerado como una forma importante de contaminación que afecta a la calidad de vida de las personas, y en particular a los habitantes de las grandes ciudades.

Anteriores estudios realizados sobre contaminación acústica en la Comunidad Valenciana evidencian la existencia de unos niveles de ruido por encima de los valores recomendados por los organismos internacionales y en particular por la Unión Europea, al superar los 65 dB(A) de nivel equivalente diurno y los 55 dB(A) durante el período nocturno [1, 2]. Aunque los resultados indican que las ciudades grandes son más ruidosas que las pequeñas, muestran también, sin lugar a duda, que la contaminación acústica es un fenómeno generalizado en todas las zonas urbanas, y que constituye un problema medioambiental importante en nuestro territorio [3].

Con el objeto de 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 Villalonga, perteneciente a la provincia de València.

El municipio de Villalonga (4370 hab.) a día del inicio de este proyecto no cuenta con ningún tipo de mapa o indicador de ruido como se puede consultar en el Sistema de Información sobre Contaminación Acústica (SICA) del gobierno de España. Este trabajo es un primer aporte a la evaluación y control de la contaminación acústica generada por el tráfico rodado en el municipio de Villalonga.

Los objetivos de este proyecto son cuantificar con medidas experimentales *in situ* y mediante un modelo de predicción, el ruido provocado principalmente por el tráfico rodado y, evaluar y comparar los niveles de ruido calculados con los niveles sonoros permitidos por la legislación vigente.

La estructura de este trabajo es la siguiente:

- En el capítulo 1 se introduce el objeto de estudio, los objetivos y la distribución de la memoria.
- En el capítulo 2 se define qué es la contaminación acústica, cómo se evalúa y gestiona, y los efectos asociados contra la salud humana.
- El capítulo 3 es un resumen de la legislación vigente del ruido a nivel estatal y autonómico, las cuales se aplican en este estudio.
- El capítulo 4 está dedicado al proceso seguido en la realización de las medidas experimentales mediante un estudio de las zonas de influencia del municipio para la elección de la localización de los puntos de medida, y la descripción de la instrumentación empleada.
- En el capítulo 5 se exponen los resultados de las medidas.
- En el capítulo 6, dados los resultados obtenidos en el capítulo anterior se calculan las incertidumbres asociadas a las medidas experimentales.
- En el capítulo 7, con el programa *Predictor-LimA V 2019.3 7810-C* se realiza la simulación de los puntos de medida como receptores. Los resultados obtenidos de la simulación se evalúan y comparan con las medidas experimentales verificando si el modelo es apto. Una vez validado el modelo se comprueban los valores resultantes con los niveles sonoros máximos marcados tanto por la legislación estatal y autonómica.
- En el capítulo 8 se presentan las conclusiones de este estudio.
- El capítulo 9 se proponen diferentes medidas correctoras con la intención de reducir los niveles de ruido en las zonas en las que se considere necesario.

Por último, este estudio se cierra con un apartado de referencias y un anexo de las hojas de campo con los datos tomados en cada punto de las medidas *in situ*.

2. LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

El ruido se define como cualquier sonido audible no deseado o que interfiere la comunicación. Este sonido generado por un fenómeno vibratorio se propaga por el aire llegando al oído humano, provocando una sensación de molestia [4].

Se entiende por contaminación acústica la presencia en el ambiente de ruidos 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 sobre el medio ambiente [5].

Las fuentes emisoras de ruido pueden ser naturales como el viento, el sonido del mar, la lluvia, sonidos producidos por animales, etc., o fuentes antropogénicas, es decir, ruidos causados por la actividad humana. El ruido que generan las fuentes antropogénicas podría ser el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario, aéreo o por emplazamientos de actividades industriales [6].

La determinación de la exposición al ruido ambiental, una vez fijado el ámbito de aplicación, se realiza mediante la elaboración de mapas de ruidos y planes de acción. Los planes de acción se adoptan tomando como base los resultados de los mapas de ruido con el objetivo de prevenir y reducir el ruido ambiental siempre que los niveles de exposición puedan tener efectos contra la salud humana, y así mantener la calidad del entorno acústico [7].

2.1. FUNDAMENTOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

2.1.1. CALIDAD ACÚSTICA

La calidad acústica es definida como el grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en su ámbito [7].

El Gobierno es el encargado de establecer los objetivos de calidad acústica aplicables a cada tipo de área acústica, de manera que se garantice, en todo el territorio un nivel mínimo de protección frente a la contaminación acústica.

Las áreas acústicas son zonas del territorio que comparten idénticos objetivos de calidad acústica. Las comunidades autónomas han de fijar los tipos de áreas acústicas clasificadas en atención al uso predominante del suelo (residencial, industrial, protegido, etc.), y los objetivos de calidad acústica (iguales o más estrictos que los del Estado) en cada una de ellas como se explica en el capítulo 3.

La representación gráfica de las áreas acústicas sobre el territorio dará lugar a la cartografía de los objetivos de calidad acústica. La cartografía sonora se completa con los denominados mapas de ruido. Los mapas de ruido se conciben como instrumento para disponer de información sobre los niveles de contaminación acústica en los distintos puntos del territorio, aplicando criterios homogéneos de medición que permitan hacer comparables entre sí las magnitudes de ruido verificadas en cada lugar [7].

2.1.2. MAGNITUDES ACÚSTICAS SIGNIFICATIVAS EN AÚSTICA AMBIENTAL

Como se ha comentado en la introducción de este capítulo, un ruido es un sonido molesto para el receptor provocado por un elemento en vibración. Por defecto, un sonido es un fenómeno físico que consiste en la

alteración de las partículas de un medio elástico, producida por un elemento en vibración. Las vibraciones se transmiten en el medio, generalmente en el aire, en forma de ondas sonoras generando en el oído una sensación auditiva.

En el aire, la vibración de las moléculas producidas por la propagación de las ondas sonoras de un sonido provoca una variación de la presión atmosférica. Esta variación de presión se denomina presión acústica o presión sonora, y se define como la diferencia en un instante dado entre la presión instantánea y la presión atmosférica [4].

Las presiones acústicas a las cuales es sensible el oído humano varían en un intervalo extenso (20 – 20000Hz). Por ello, y dado que el comportamiento del oído humano se adecua más a una función logarítmica que a una lineal, para medir las presiones acústicas se utiliza la unidad del decibelio en escala logarítmica.

El nivel de presión sonora, L , se define por la siguiente expresión:

$$L = 10 \log \frac{p^2}{p_o^2} = 20 \log \frac{p}{p_o} \text{ (dB)}$$

donde p_o es el valor de referencia de la presión acústica que representa la menor presión acústica audible por un oído humano común (20 μ Pa) y p es la presión acústica instantánea.

Un oído humano es capaz de percibir y soportar sonidos correspondientes a niveles de presión sonora entre 0 y 120 dB. Este último nivel de ruido marca aproximadamente el denominado “umbral del dolor”. A niveles de ruido superiores pueden producirse daños físicos irreparables, como la rotura del tímpano.

La percepción humana de los sonidos se puede evaluar desde dos perspectivas, un primer enfoque más objetivo desde la física basado en un análisis espectral de los niveles de presión sonora, o mediante parámetros psicoacústicos que dependen de la percepción subjetiva de cada individuo (el mismo ambiente acústico puede ser molesto para una persona y no para otra) y evalúan los procesos cognitivos implicados (el grado de molestia que genera un sonido, la actitud respecto a una fuente de ruido, etc.).

Para determinar la percepción subjetiva del sonido se han de tener en cuenta múltiples factores, como la intensidad o la presión acústica eficaz, que distinguen entre la intensidad de sonidos altos y bajos, el tono o la frecuencia del sonido, que se diferencian entre los sonidos agudos y graves, u otros factores como el timbre, el ritmo, etc.

Los sonidos percibidos son representados mediante su espectro de frecuencia (ver figura 1). Esta representación gráfica se basa en la unión de dos componentes, la onda sonora o emisor físico que produce un sonido, y la sonoridad o sensación subjetiva producida por ciertas variaciones de presión en el oído. Físicamente se representa como el nivel de presión sonora en un rango de frecuencias audible.

Para conocer las características de un sonido en las distintas frecuencias, se descompone el sonido en bandas de frecuencia que han sido normalizadas según la norma UNE-EN 61260 [8]. Estas bandas sonoras pueden ser de ancho constante de un filtro pasa banda o de ancho proporcional a la frecuencia central. Este último tipo de repartición proporciona una mayor resolución frecuencial puesto que los filtros son más estrechos, y se corresponde al análisis por filtros de bandas de octava y de bandas de tercio de octava.

La figura 1 muestra la representación de un conjunto de curvas que producen la misma sensación de sonoridad (curvas isofónicas). Las curvas isofónicas se obtienen de estudios realizados sobre un gran número de oyentes que indican, para cada una de las curvas en cada banda de tercio de octava, el nivel de presión sonora que debe tener un sonido para que cause la misma sensación sonora que otro de frecuencia distinta.

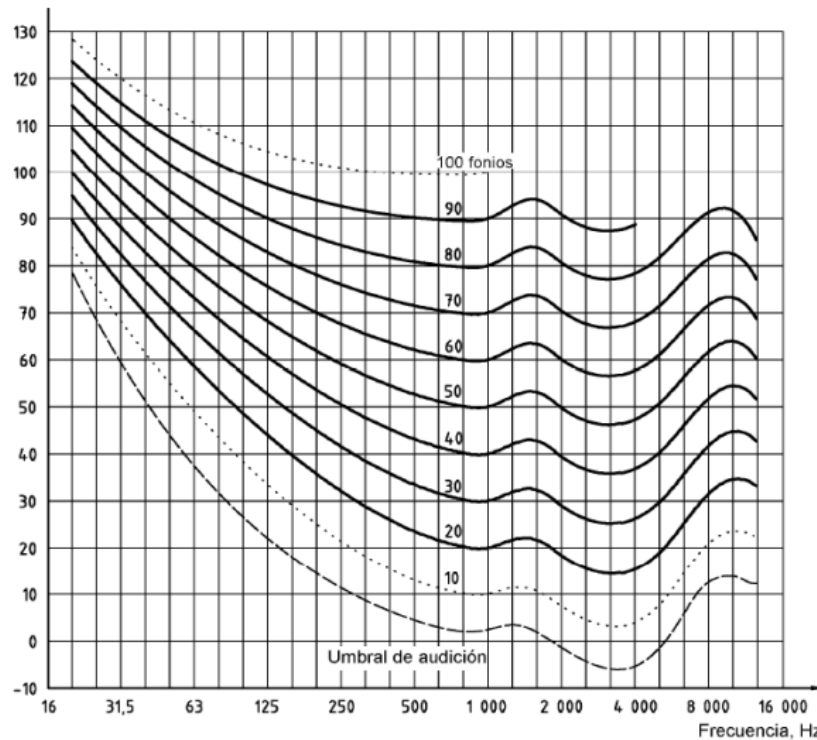


Figura 1. Curvas de igual sonoridad [4].

Dadas las curvas isofónicas se deduce que 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 más molesto cuanto mayor proporción de altas frecuencias contenga.

Para tener en cuenta esta peculiar sensibilidad, se introduce en la medida del ruido los 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 que tienen en cuenta las peculiaridades del oído humano, asegurando así un nivel más cercano a la percepción de este.

Con este criterio se han definido varios filtros, siendo los más conocidos los denominados A, B y C.

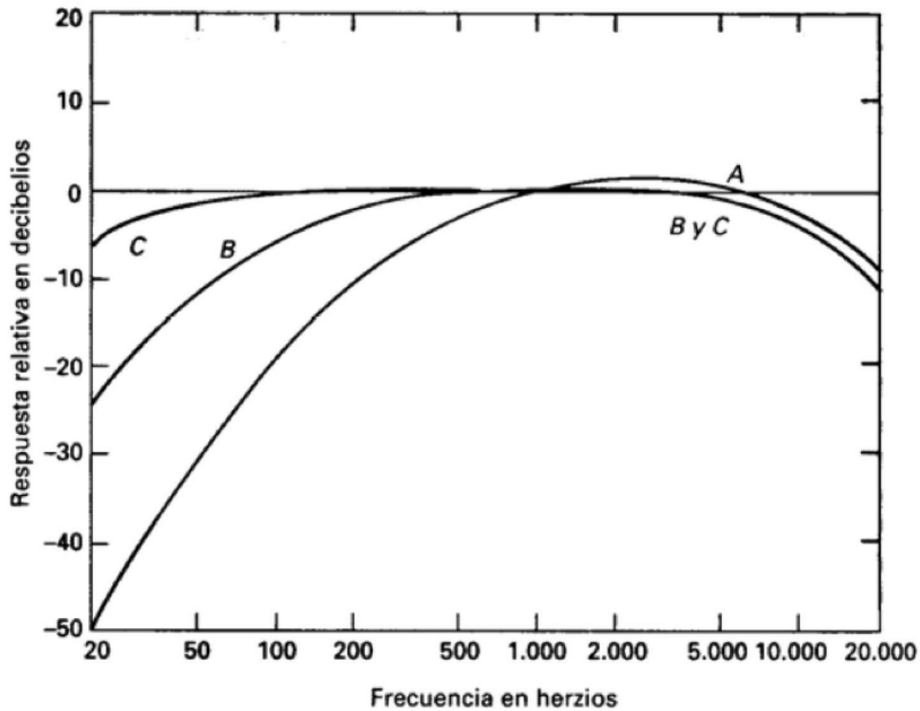


Figura 2. Curvas de ponderación en frecuencia [4].

El filtro utilizado en el dominio del ruido del transporte rodado es el A, y los niveles de presión sonora utilizados se miden en decibelios A, dBA. Esta ponderación frecuencial penaliza aumentando los niveles en las bandas de frecuencia más molestas para el ser humano (1 – 5 kHz), y reduciéndolos en las bandas más bajas y altas, a las cuales el ser humano es menos sensible.

2.1.3. ÍNDICES PARA LA EVALUACIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL

Los sonidos son analizados para conocer los niveles de inmisión en determinadas áreas y situaciones, y conocer el grado de molestia generado sobre la población. Por ello, es necesario el establecimiento de un índice numérico (objetivo) que sirva de base para la evaluación del impacto y para el establecimiento de valores límite que garanticen una determinada calidad del ambiente sonoro de forma objetiva y universal.

Estos valores varían según la fuente del ruido, la naturaleza del receptor y la actividad que este desarrolla, y del tiempo de exposición al ruido. Todos estos factores se han de tener en cuenta a la hora de seleccionar índices descriptores del ruido.

A continuación, se muestran los principales índices para la evaluación del ruido ambiental.

- Nivel de presión sonora continuo equivalente. $L_{Aeq}(T)$

Expresa la media de la energía sonora percibida por un individuo en un intervalo de tiempo fijado. Este valor representa el 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 pascales, y P_0 la presión acústica de referencia, cuyo valor en el aire es de $20 \mu\text{Pa}$.

-Niveles percentiles. L_N

Los niveles percentiles nos informan de la probabilidad de alcanzar o sobrepasar un nivel promedio durante un $N\%$ del intervalo de tiempo de medida considerado.

Los valores más comunes son:

- Nivel L_1 : nivel alcanzado o sobrepasado durante el 1% del tiempo en el periodo considerado. Representa el ruido máximo, si el periodo de medición es corto.
- Nivel L_{10} : nivel alcanzado o sobrepasado durante el 10% del tiempo.
- Nivel L_{50} : nivel que se sobrepasa el 50% del tiempo de medición. Es la mediana estadística, es decir, el ruido medio.
- Nivel L_{90} : nivel alcanzado o sobrepasado durante el 90% del tiempo. Considerado normalmente como el ruido de fondo (no producido por la fuente/actividad a evaluar).
- Nivel L_{99} : nivel alcanzado o sobrepasado durante el 99% del tiempo. Representa el nivel mínimo que se ha registrado.

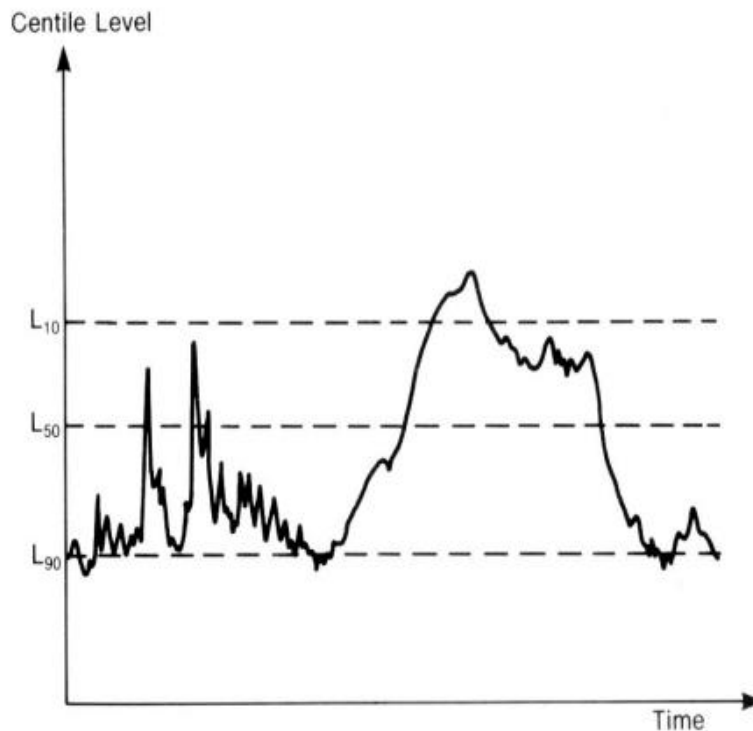


Figura 3. Niveles percentiles en función del nivel sonoro [6].

-Nivel sonoro día-tarde-noche. L_{den}

Siguiendo las recomendaciones de la ley estatal referida en el capítulo 3, se establecen tres periodos temporales:

- 1) Periodo día (d): al periodo día le corresponden 12 horas (7.00 a 19.00 h).
- 2) Periodo tarde (e): al periodo tarde le corresponden 4 horas (19.00 a 23.00 h).
- 3) Periodo noche (n): al periodo noche le corresponde 8 horas (23.00 a 7.00 h).

El índice descriptor L_{den} , es el nivel equivalente en ponderación A correspondiente a la media de los niveles sonoros medios en cada periodo temporal (en total 24 h). Su cálculo viene dado de la siguiente fórmula matemática:

$$L_{den} = 10 \log \left(\frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{dia}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{tarde}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{noche}+10}{10}}}{24} \right) dB(A)$$

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

2.2 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA SOBRE LA SALUD

La presencia de contaminación acústica tiene una serie de efectos perjudiciales sobre las actividades humanas más habituales, interfiriendo en la comunicación hablada y alterando el sueño, el descanso y la relajación, impidiendo la concentración y generando estados que pueden facilitar enfermedades auditivas, de tipo nervioso y cardiovascular.

Los efectos sobre la salud humana producidos por la contaminación acústica dependen del tiempo de exposición, la intensidad y la frecuencia del ruido. Los ruidos de alta frecuencia (sonidos agudos, a partir de 2 kHz en adelante) son de más riesgo auditivo que los de baja frecuencia (sonidos graves, menores a 250 Hz) para los mismos niveles sonoros. Los ruidos de larga duración y nivel de sonido alto son los más dañinos para el oído humano. Por ejemplo, actividades como asistir a un concierto de rock que se pueden llegar a alcanzar picos de 120 dB, o ir a una discoteca donde se pueden registrar niveles entre 100 y 110 dB, durante largos periodos de tiempo, pueden producir daños auditivos [9].

El nivel de ruido y la duración de la exposición, junto con la percepción subjetiva de cada individuo, determinan el daño acumulativo en el oído humano. La siguiente tabla muestra los efectos sobre la salud en entornos específicos mediante niveles sonoros orientativos y su exposición en el tiempo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) [10].

Entorno	Nivel sonoro dB(A)	Tiempo(h)	Efecto sobre la salud
Exterior de viviendas	50-55	16	Molestia
Interior de viviendas	35	16	Interferencia con la comunicación
Dormitorios	30	8	Interrupción del sueño
Aulas escolares	35	Duración de la clase	Perturbación de la comunicación
Áreas industriales, comerciales y de tráfico	70	24	Deterioro auditivo
Música en auriculares	85	1	Deterioro auditivo
Actividades de ocio	100	4	Deterioro auditivo

Tabla 1. Efectos sobre la salud en función del nivel sonoro según la OMS [10].

Como se puede ver en la tabla anterior, la exposición durante más de 8 horas a niveles sonoros por encima de 85 dB es peligrosa para el sistema auditivo y puede causar una pérdida de audición permanente.

Los principales efectos sobre la salud reconocidos por la Organización Mundial de la Salud debidos a la contaminación acústica son [9 y 10]:

Los efectos auditivos vienen dados por un deterioro auditivo que se entiende como el incremento en el umbral auditivo evaluado clínicamente mediante una audiometría. Lo que significa que la sensibilidad auditiva disminuye resultando más difícil percibir sonidos suaves. Este desplazamiento del umbral de audición puede ser temporal o permanente. El desplazamiento del umbral de audición permanente está directamente relacionado con la *presbiacusia* que es la pérdida lenta de la capacidad para escuchar altas frecuencias, que se presenta a medida que las personas envejecen.

El deterioro auditivo puede producirse por el entorno en el que se convive, lugar de trabajo, o por otras causas como traumas, infecciones o causas hereditarias.

Los sonidos no sólo se consideran peligrosos para salud si superan ciertos umbrales audiométricos, si no que un nivel sonoro se considera dañino cuando la comunicación no es posible pudiendo causar los siguientes efectos:

-Efectos auditivos

- *Tinnitus* continuo, escuchar ruidos en los oídos cuando no existe fuente sonora externa.
- Incapacidad para localizar sonidos.
- Distorsión de los sonidos.
- Asincronía en la información inusualmente sensible a sonidos altos.

-Efectos no auditivos

- Perturbación del sueño y del rendimiento en el trabajo y la escuela.
- Efectos cardiovasculares.
- Respuestas hormonales y sus posibles consecuencias sobre el metabolismo humano y el sistema inmune.
- Molestia.
- Interferencia con el comportamiento social (agresividad, protestas y sensación de desamparo).
- Interferencia con la comunicación oral.

Para abordar este problema y poder solventarlo la OMS recomienda que en los lugares de trabajo el nivel más alto permisible de exposición al ruido sea de 85 dB durante un máximo de 8 horas al día [11].

También recomienda mantener bajo el volumen de los aparatos de audio personales restringiendo el uso a menos de una hora al día, la utilización de tapones o auriculares insonorizados en lugares ruidosos, y realizarse revisiones auditivas periódicas.

Además, aconseja a los gobiernos que se aplique una legislación rigurosa sobre el ruido, sensibilizando con campañas de información pública sobre los riesgos de la pérdida de audición. Y a la población adulta, educadores y médicos inculcar a la juventud el significado de una audición responsable y segura.

3. LEGISLACIÓN REGULADORA DEL RUIDO

La distribución competencial sobre la contaminación acústica viene regulada por la legislación de ámbito nacional establecida por la Administración General del Estado, en la que se define las medidas obligatorias para regular el ruido. Esta ley es desarrollada por las comunidades autónomas y los ayuntamientos, mediante ordenanzas o reglamentos adaptados a la normativa nacional y sus complementos.

En el estudio de este proyecto se han tenido en cuenta las siguientes medidas legislativas tomadas por el gobierno y sus autonomías frente a la calidad del medio acústico y su protección.

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.

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.

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.

Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de protección contra la contaminación acústica.

DECRETO 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.

DECRETO 19/2004, de 13 de febrero, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor.

3.1. LEGISLACIÓN ESTATAL

En relación con la legislación del Estado Español sobre el ruido se encuentra la Ley 37/2003 [7], de 17 de noviembre, del Ruido cuyo objeto y finalidad es prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños que de ésta pueden derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente.

Para el desarrollo y complemento de esta ley se tiene en cuenta el Real Decreto 1513/2005 [5], de 16 de diciembre, cuyo objetivo es establecer un marco básico destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental. El Real Decreto 1367/2007 [12], de 19 de octubre, tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/2003.

El ámbito que se aplica al ruido ambiental por el Real Decreto 1513/2005 es aquel al que estén expuestos los seres humanos, en particular, en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas de una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares, en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.

Para la evaluación del ruido se definen en el anexo I del Real Decreto 1513/2005 los índices de ruido L_d (índice de ruido día), L_e (índice de ruido tarde) y L_n (índice de ruido noche), todos ellos en ponderación A. Los horarios respectivos de los distintos periodos de los índices son 7.00-19.00, 19.00-23.00 y 23.00-7.00, hora local.

Los objetivos de calidad acústica en las áreas urbanizadas en función de estos índices de ruido vienen definidos en el Anexo II del Real Decreto 1367/2007 como muestra la siguiente tabla.

Tipo de área acústica		Índices de ruido (dbA)		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso 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 suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo 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 2. Objetivos de calidad acústica en áreas urbanizadas [12].

(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.

Nota: Los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m.

3.2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

En cuanto a la legislación autonómica de la Comunidad Autónoma de Valencia en este estudio se aplica la Ley 7/2002 [3], 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.

En complemento a la presente Ley 7/2002 de la Generalitat se ha desarrollado el Decreto 19/2004 [13] del Consell de la Generalitat, por el que se establecen los niveles máximos de emisión sonora admisibles para los vehículos a motor, así como los procedimientos de evaluación de estos en la Comunidad Valenciana. Y el Decreto 266/2004 [14] del Consell de la Generalitat con el objeto de establecer los mecanismos de control del ruido originado en actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios, así como las limitaciones y procedimientos de evaluación.

Como estipula la estatal Ley 37/2003 anunciada en el apartado anterior, si el ámbito territorial del mapa de ruido que se trate no excede de un término municipal (territorio en el que el ayuntamiento ejerce sus competencias) las competencias del desarrollo de esta ley estatal corresponderán a los ayuntamientos, y en caso contrario a la comunidad autónoma. Dado que este estudio es sobre la contaminación acústica del municipio de Villalonga, se va a seguir el orden establecido por la normativa de la Comunidad de Valencia, dejando al ayuntamiento correspondiente, la legislación de los niveles permitidos en cada zona en particular.

Para la realización de este proyecto se han tenido en cuenta los diferentes apartados de la Ley 7/2002, de los cuales se resumen a continuación algunos importantes.

-Periodo de evaluación

A diferencia de los periodos de evaluación definidos en el anexo I del Real Decreto 1513/2005 descritos en el apartado anterior, a los efectos de la Ley 7/2002 se entiende por “día” u horario diurno el comprendido entre las 08.00 y las 22.00 horas, y por “noches” u horario nocturno el intervalo comprendido entre las 22.00 y las 08.00 horas del día siguiente.

-Instrumentos de medida

Las mediciones de niveles sonoros se realizarán utilizando sonómetros, sonómetros integradores-promediadores y calibradores sonoros que cumplan con la normativa vigente (Orden ICT/155/2020) reguladora del control metrológico del estado sobre los instrumentos destinados a medir niveles de sonido audible.

-Condiciones de medición

Los sonómetros empleados en las mediciones deberán ser calibrados con un calibrador de clase 1, antes y después de cada medición.

Las mediciones en el ambiente exterior se han de efectuar siempre con la pantalla antiviento situada en el micrófono.

El operador responsable de las mediciones deberá tener en cuenta unas condiciones meteorológicas favorables que no afecten a estas. Según el Anexo IV del Real Decreto 1367/2007 que desarrolla la ley estatal 37/2003, cuando en el punto de evaluación la velocidad del viento sea superior a 5 metros por segundo se descartará la medición.

-Localización de los puntos de medición

Según el Real Decreto 266/2004 que desarrolla la ley autonómica (Ley 7/2002), a nivel de calle se localizarán los puntos de medición, al menos, a 2 metros de la fachada, a una altura de 1,5 metros del suelo y en una zona libre de obstáculos y superficies reflectantes. En cambio, en campo abierto se localizarán los puntos de medición, al menos, a 10 metros de la fuente de ruido, a una altura preferentemente entre 3 y 11 metros y nunca inferior a 1,5 metros del suelo. En ambos casos, los valores límite de recepción admisibles en el ambiente exterior, serán los referidos en la tabla 3.

En el capítulo 4 de este proyecto, en la realización de las medidas experimentales, se ha tenido en cuenta la norma UNE-ISO 1996-2 [15] en lo referente a la localización del equipo de medición. Dicha norma indica que la ubicación del micrófono de medición debe encontrarse entre 0,5 metros y 2 metros de una superficie reflectante, y a una altura de 4 (± 0.2) metros en zonas residenciales.

-Duración de las mediciones

La duración de las mediciones dependerá de las características del ruido que se esté valorando, de modo que ésta sea lo suficientemente representativa del periodo temporal que se pretenda evaluar.

Si el ruido es uniforme, deberán realizarse, al menos, 3 mediciones, de una duración mínima de 1 minuto, con intervalos no inferiores a 1 minuto.

Si el ruido es variable, deberán realizarse, al menos, 3 series de mediciones, con 3 mediciones en cada serie. La duración debe ser mínima de 5 minutos y con intervalos entre cada serie de al menos 5 minutos.

-Evaluación del nivel de recepción en ambiente exterior

Los niveles de ruido se medirán y expresarán en decibelios con ponderación normalizada A, con las siguientes siglas dB(A).

Los niveles máximos sonoros de recepción que no han de superarse, expresados como nivel sonoro continuo equivalente $L_{A,eq,T}$ en función del uso dominante de cada zona, se establecen en el anexo II de la Ley 7/2002 como muestra la siguiente tabla.

Uso dominante	Nivel sonoro dB(A)	
	Día	Noche
Sanitario y docente	45	35
Residencial	55	45
Terciario	65	55
Industrial	70	60

Tabla 3. Niveles de recepción externos [3].

-Instrumentos de planificación y gestión acústica

El establecimiento de las medidas preventivas y correctoras necesarias para mantener los niveles sonoros por debajo de lo estipulado por la Ley 7/2002 viene dado por una planificación acústica basada en:

- a) Plan Acústico de Acción Autonómica
- b) Planes acústicos municipales
- c) Ordenanzas municipales
- d) Declaración de zonas acústicamente saturadas

-Planes acústicos municipales

Los planes acústicos municipales tienen por objeto la identificación de las áreas acústicas existentes en el municipio en función del uso que sobre las mismas exista o esté previsto y sus condiciones acústicas, así como la adopción de medidas que permitan la progresiva reducción de sus niveles sonoros para situarlos por debajo de los previstos en la presente Ley.

Los municipios de más de 20.000 habitantes elaborarán sus respectivos planes acústicos que contemplarán todo el término municipal.

Los planes acústicos municipales constarán de un Mapa Acústico y de un Programa de Actuación que debe incluir las siguientes medidas:

- a) Ordenación de las actividades generadoras de ruido implantadas o a implantar en el ámbito de aplicación del Plan.
- b) Regulación del tráfico rodado.
- c) Programas de minimización de la producción y transmisión de ruidos.
- d) Establecimiento de sistemas de control de ruido.
- e) Cualesquiera otras que se consideren adecuadas para reducir los niveles de ruido.

-Mapas acústicos

Los mapas acústicos tienen por objeto analizar los niveles de ruido existentes en el término municipal y proporcionar información acerca de las fuentes sonoras causantes de la contaminación acústica.

La revisión de los mapas de ruido habrán de realizarse cada 5 años desde su aprobación como marca la estatal del ruido Ley 37/2003.

Se diferencian las siguientes áreas, a tener en cuenta por la generación de la contaminación acústica:

- a) Principales vías de comunicación.
- b) Áreas industriales y recreativas, donde se producirá la implantación de estos usos, teniendo en cuenta los mayores niveles de ruido que genere.
- c) Áreas residenciales y comerciales.
- d) Áreas especialmente protegidas por estar destinadas a usos sanitarios y docentes.

- e) Áreas especialmente protegidas por los valores medioambientales que residen en las mismas y que precisan estar preservados de la contaminación acústica.
- f) Áreas de los centros históricos.

En función de cada ámbito de cada una de las áreas establecidas los mapas acústicos contendrán:

- a) Resultados de las mediciones, análisis de los niveles de ruido e identificación de la naturaleza de las fuentes sonoras que los producen.
- b) Resultados de las mediciones y análisis específicos del ruido del tráfico, distinguiendo las calles en función de los niveles de intensidad sonora.
- c) Diagnóstico de la situación en general y para cada una de las áreas determinadas.

4. ESTUDIO Y REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS

4.1. ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Villalonga, perteneciente a la comarca de La Safor, se localiza en la provincia de València a 80 kilómetros al sur de la ciudad capital. Cuenta con una superficie de 43,32 km² de extensión cuyo uso se divide en un 2,93% de superficie urbana, donde se centra este estudio, y un 97,19% de superficie rústica según el banco de datos municipal de la Generalitat Valenciana [16]. Su población a 1 de enero de 2020 es de 4370 habitantes según los últimos datos actualizados del Instituto Nacional de Estadística (INE) [17].

En la siguiente figura se muestran las principales calles y carreteras, y las zonas sensibles frente al ruido como el instituto, el centro de salud o el colegio público.



Figura 5. Localización de los puntos de medida [18].

Se consideran vías principales las carreteras CV-680 (P01, P03), CV-685 (P06), carretera de Ador (P07) y de Gandia (P09), avenida Blasco Ibáñez (P04, P05, P12) y calle Potries (P16), y las demás calles con puntos localizados en ellas, como vías secundarias.

A continuación, se comenta la localización y descripción de cada punto:

- Punto P01: Se encuentra en la carretera CV-680, delante de la fábrica *Río Tinto Fruits*, con interés de medir el flujo de tráfico de vehículos desviados por la calle Almoinos al polígono industrial. Se considera una vía con alto caudal de tráfico rodado.
- Punto P02: Se encuentra en la calle Beniarjo, detrás de la fábrica *Río Tinto Fruits*, vía con bajo caudal de tráfico rodado.
- Punto P03: Se localiza en la continuación de la carretera CV-680, en el acceso más frecuentado a la población, vía de alto caudal de tráfico rodado.
- Punto P04: Se encuentra en un extremo y carril de la avenida Blasco Ibáñez, próximo a la fábrica *Vicky Foods*. Se considera una vía con caudal medio de tráfico rodado, por la que se desvían vehículos pesados desde el polígono industrial o las carreteras cercanas (CV-685 y CV-680).
- Punto P05: Se sitúa en el otro extremo y carril opuesto al punto P04 en la avenida Blasco Ibáñez.
- Punto P06: Se localiza en la carretera CV-685, siendo el otro acceso principal a la población con alto caudal de tráfico rodado.
- Punto P07: Se encuentra en la carretera de Ador, próximo al instituto *IES Vall de la Safor*, vía con alto caudal de tráfico rodado.
- Punto P08: Se sitúa en el centro de la avenida Estació, en la parte de atrás del centro de salud, vía con bajo tráfico rodado.

Estudio de la contaminación acústica de la población de Villalonga

- Punto P09: Se localiza en la calle Gandia, en la continuación en línea recta por la carretera CV-680, vía de alto tráfico rodado.
- Punto P10: Se encuentra en la calle Azorín, cruce con la calle de Valencia y la calle Dr.Fleming, vía con caudal medio de tráfico rodado.
- Punto P11: Se sitúa en Cami de la Font, por donde circulan vehículos pesados, vía de caudal medio de tráfico rodado.
- Punto P12: Se localiza en la continuación de la avenida Blasco Ibáñez, enfrente de la fábrica *Vicky Foods*, vía con caudal alto de tráfico rodado.
- Punto P13: Situado en un carril y extremo del Paseo Presbítero Giner, zona céntrica en dónde se encuentran la mayoría de los comercios, centrales bancarias y lugares de restauración de la localidad.
- Punto P14: Localizado en el carril y extremo opuesto al punto P13 del Paseo Presbítero Giner, vía con bajo caudal de tráfico rodado.
- Punto P15: Se sitúa en la Plaza de la Safor, acceso más frecuentado hacia la zona más periférica de la población, vía con alto caudal de tráfico rodado.
- Punto P16: Se localiza en la calle Potries por la que se conecta el polígono industrial con la población, vía con alto caudal de tráfico rodado.
- Punto P17: Se encuentra en la calle Barranquet, delante del tanatorio, vía con bajo caudal de tráfico rodado.
- Punto P18: Situado enfrente de *Vicky Foods*, cerca de la carretera, vía de bajo tráfico rodado.
- Punto P19: Se localiza en la esquina norte de la fábrica *Vicky Foods*, pasando la rotonda, vía con alto caudal de tráfico rodado.
- Punto P20: Se sitúa en Cami de la Font, cerca de la entrada a la fábrica *Vicky Foods*, vía de caudal medio de tráfico rodado.

En las siguientes figuras, a modo de ejemplo, se muestran en detalle la localización de los puntos P03 y P05 (el resto de las fotografías de la ubicación de cada punto se encuentran en el anexo de este proyecto).



Figura 6. Punto P03.



Figura 7. Punto P05.

4.3. INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA

Para realizar las medidas se ha contado con la siguiente instrumentación.

- Sonómetro Integrador clase 1, modelo 2250 Light (Bruel & Kjaer).
- Calibrador sonoro clase 1, modelo 4231(Bruel & Kjaer).
- Micrófono prepolarizado de ½ pulgada (1,27 cm) modelo 4950 (Bruel & Kjaer), omnidireccional con rango dinámico y ponderación A de 16,6 dB a 140 dB, y rango de frecuencias lineal de 6,5 a 16000 Hz. Y preamplificador de micrófono modelo ZC-0032 de Bruel & Kjaer.
- Pantalla paraviento para sonómetros modelo 2250, de la marca Bruel & Kjaer.
- Trípode.
- Anemómetro Testo 410-2 para medir las condiciones meteorológicas.
- BZ5503-Measurement Partner Suite B&K.

La realización de las medidas experimentales de este proyecto se ha llevado a cabo siguiendo la normativa UNE-ISO 1996-2 [15] en lo referente a la selección de la ubicación del equipo de medición. Aunque en esta norma se marca una altura en la localización del micrófono de 4 (± 0.2) metros en zonas residenciales para tener en cuenta los efectos meteorológicos, en la práctica de este estudio las medidas se realizaron a una altura del trípode de 1,5 metros para facilitar y agilizar el trabajo de campo; y por estar demostrado que los efectos meteorológicos no alteran los resultados en un intervalo crítico dentro de un estudio acústico ambiental, pues las diferencias se pueden considerar despreciables.

Como puede apreciarse en las figuras del apartado anterior (ver figuras 6 y 7), el sonómetro, ajustado a la altura de 1,5 metros del trípode, con el micrófono omnidireccional y la pantalla paraviento adaptada, mide los niveles de presión sonora, siendo calibrado antes y después de cada medida con el calibrador sonoro.

Los resultados de cada medida son procesados y transferidos al ordenador mediante el software de la marca Bruel & Kjaer, BZ5503-Measurement Partner Suite.

En las siguientes figuras se muestra el equipo comentado y utilizado durante las medidas experimentales.



Figura 8. Sonómetro.



Figura 9. Calibrador sonoro.



Figura 10. Anemómetro.



Figura 11. Micrófono omnidireccional y preamplificador del micrófono.



Figura 12. Trípode

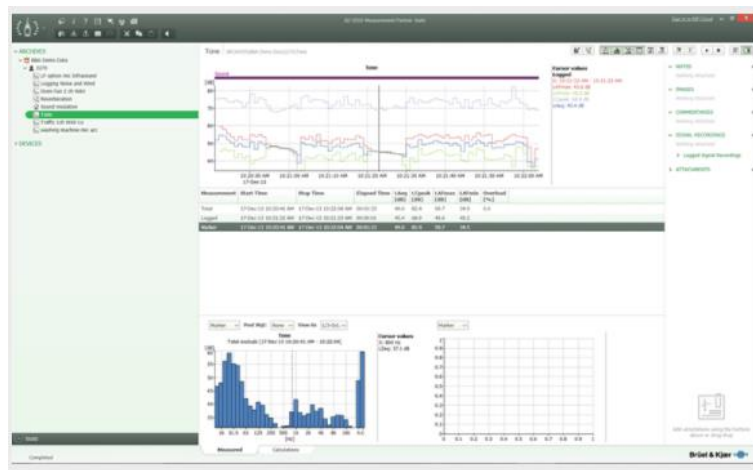


Figura 13. Software de procesado de los datos del sonómetro.

4.4. PROCEDIMIENTO EN LA REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS

Siguiendo la normativa marcada por la Ley 7/2002 de la Comunidad Autónoma de Valencia se realizaron las medidas en horario diurno definido entre las 08.00 y las 22.00 horas. Por motivos ergonómicos los datos del periodo nocturno, es decir, entre las 22.00 y 08.00 horas del día siguiente, no se han podido medir de forma experimental, por lo que son obtenidos mediante la simulación en el programa *Predictor* considerando una reducción del flujo del tráfico al 20% del registrado en el horario diurno.

Una vez realizado el estudio del entorno y definido el número de puntos de medida y su localización como se ha explicado anteriormente, se realizaron tres medidas en cada punto en diferentes días y horas laborables del periodo diurno.

El tiempo de duración de cada medida se ha establecido en diez minutos, aunque con el fin de obtener datos más estables y representativos sobre el caudal de vehículos y los índices de ruido, en zonas con menor densidad de tráfico y en horas con menor afluencia de vehículos se ha extendido el tiempo a quince minutos.

En cada medida se ha calibrado el sonómetro y anotado (consultar anexo) las condiciones meteorológicas, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento, datos de la vía importantes como el límite de velocidad o el tipo de pavimento, y el número de vehículos ligeros y pesados que han transitado.

Considerando los vehículos pesados aquellos que superan los 3500 kg de peso (como indica la norma UNE-ISO 1996-2). Al acabar las medidas se ha vuelto a calibrar el sonómetro.

Para los casos en los que durante la realización de la medida las condiciones meteorológicas no eran favorables, o fueron interferidas por ruidos indeseados como el del claxon de un vehículo o el ruido de algún animal, la medida fue reiniciada.

5. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS

5.1 CAUDAL DE VEHÍCULOS

La siguiente tabla muestra el caudal de vehículos en cada punto en una hora promediado en los tres días en los que se realizaron las medidas experimentales.

Calle	Punto	Día (08-22 h)		Noche (22-08 h)	
		V.lig./h	V.pes./h	V.lig./h	V.pes./h
CV-680	P01	496	26	99	5
	P03	416	26	83	5
CV-685	P06	95	2	19	0
Av. Blasco Ibañez	P04	49	3	10	1
	P05	55	5	11	1
	P12	130	4	26	1
Ctra. De Gandia	P09	258	2	51	0
Ctra. De Ador	P07	118	8	24	2
Av. Estació	P08	55	0	11	0
Paseo Presbítero Giner	P13	32	0	6	0
	P14	59	0	12	0
Plaza de la Safor	P15	170	2	34	0
Camí Pla de la Font	P11	57	5	11	1
	P20	54	2	11	0
Carrer Azorín	P10	65	1	13	0
Carrer Beniarjo	P02	2	0	0	0
Carrer Potries	P16	80	27	16	5
Calle Barranquet	P17	4	4	1	1
Enfrente de la fábrica (Vicky Foods)	P18	34	8	7	2
	P19	95	4	19	1

Tabla 4. Caudal de vehículos.

5.2 NIVEL SONORO EQUIVALENTE

A continuación, se muestran los niveles sonoros equivalentes (L_{Aeq}) obtenidos de las medidas experimentales realizadas en cada día en los puntos elegidos, y el promedio con su desviación estándar asociada del nivel de los tres días en cada punto.

Punto	L _{Aeq} , día 1 (dBA)	L _{Aeq} , día 2 (dBA)	L _{Aeq} , día 3 (dBA)	L _{Aeq} , promedio (dBA)
P01	65,4	65,3	68,5	66,7±1,8
P02	50,3	48,6	55,0	52,2±3,3
P03	65,0	66,0	62,8	64,8±1,6
P04	54,1	53,6	57,2	55,3±1,9
P05	55,3	53,8	60,3	57,4±3,4
P06	57,6	57,7	57,1	57,5±0,3
P07	58,3	56,8	58,2	57,8±0,8
P08	55,5	57,0	54,6	55,8±1,2
P09	63,5	65,6	66,4	65,3±1,5
P10	56,2	59,7	59,1	58,6±1,9
P11	57,5	64,6	62,1	62,3±3,6
P12	64,7	58,8	58,9	61,7±3,4
P13	59,7	61,4	55,4	59,5±3,1
P14	57,7	57,6	57,6	57,6±0,1
P15	62,3	62,2	59,8	61,6±1,4
P16	67,5	62,1	54,5	63,9±6,5
P17	56,2	56,0	45,5	54,5±6,1
P18	62,9	59,5	55,2	60,2±3,8
P19	62,7	57,0	52,9	59,3±4,9
P20	52,5	57,4	53,4	54,9±2,6

Tabla 5. Nivel sonoro equivalente de las medidas experimentales.

De la tabla anterior se considera una desviación acorde y coherente al promedio de las tres medidas no superior a los 3 dB(A), pero lo cierto es que en los casos en los que el tráfico fluctúa mucho en función de la hora en el día, sobre todo en la zona industrial (P16, P17, P18, y P19) debido al horario laboral, la desviación estándar es superior a 3 dB(A). Aun así, considerando en general un buen promedio del nivel sonoro en las medidas experimentales, también se ha de tener en cuenta que las mediciones se han realizado en un periodo diurno con un total de 14 horas, y para conseguir una mayor aproximación real del nivel continuo equivalente del ruido durante éste, las medidas se realizaron en diferentes horas del día (consultar anexo).

6. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES EN LAS MEDIDAS

Las mediciones de ruido ambiental no son exactas ya que están sujetas a diferentes factores como la fuente sonora que se mide, el intervalo de tiempo de medición o las condiciones meteorológicas del entorno. Es por ello, que 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. La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a la magnitud objeto de la medición [19].

Para evaluar la calidad del resultado de una medición de una magnitud física, es decir, para evaluar y expresar su incertidumbre experimental, es necesario indicarlo de forma cuantitativa. De lo contrario sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con otros valores de referencia dados en especificaciones o normas.

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% [15].

En este estudio se tendrán en cuenta las incertidumbres descritas en la siguiente tabla.

Incertidumbre típica				Incertidumbre típica combinada	Incertidumbre expandida
Debida a la instrumentación:	Debida a las condiciones de funcionamiento:	Debida a las condiciones meteorológicas y del terreno:	Debida al sonido residual:	$\sigma_t = \sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$ (dB)	$\sigma_e = \pm 2 \cdot \sigma_t$ (dB)
W (dB)	X (dB)	Y (dB)	Z (dB)		

Tabla 6. Resumen de las incertidumbres en la medida [20].

Como se puede apreciar en la tabla anterior a modo de resumen, la incertidumbre en la medida depende de los siguientes factores:

- Instrumentación empleada.
- Condiciones de operación.
- Condiciones climáticas y del suelo.
- Sonido residual.

En este trabajo las medidas de campo se realizaron únicamente durante el periodo día. Por lo tanto, las incertidumbres típicas se asumirán iguales para los dos periodos (día y noche).

6.1. INCERTIDUMBRE DEBIDA A LA INSTRUMENTACIÓN

La incertidumbre debida a la instrumentación representa la influencia que ejercen los distintos operadores y equipos en el mismo lugar. El valor representativo de esta incertidumbre se obtiene de la siguiente fórmula.

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

Cada elemento de la ecuación se describe y se calcula de la siguiente forma:

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

$$u(\delta_{PFE}) = \frac{U_E}{K_n} = \pm \frac{0,15}{2} = \pm 0,075 \text{ dB}$$

Donde U_E es la incertidumbre expandida certificada y K_n indica la 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.

$$u(\delta_{PFA}) = \frac{U_E}{K_n} = \pm \frac{0,15}{2} = \pm 0,075 \text{ dB}$$

Donde U_E y K_n representan lo mismo que se explica en el apartado anterior.

- 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.

$$u(\delta_{RMS}) = \sigma_R = 0,055 \text{ dB}$$

Se calcula a partir de la desviación típica de las desviaciones en dB de la precisión del detector RMS.

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

$$u(\delta_{PT})_{fast\ o\ slow} = \frac{\Delta_{PT}}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} \geq 0,0577\ dB$$

Donde $\Delta_{PT} = 0,1$ es la máxima de las desviaciones de las constantes temporales. En este caso se emplea la corrección *Slow* que es la más restrictiva.

- δ_{CA} : representa la corrección asociada con el ajuste inicial del sonómetro utilizando un calibrador acústico.

$$u(\delta_{CA}) = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} \geq 0,00288\ dB$$

Siendo E_S la resolución del sonómetro o el dígito menos significativo en pantalla.

- 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 que lo estamos utilizando pueden ser distintas a las de calibración y además su valor varía con el tiempo. Por lo tanto, la corrección δ_{CC} modela este hecho y su incertidumbre asociada será la incertidumbre de uso del calibrador.

$$u(\delta_{CC}) = \frac{U_C}{K_n} = \frac{\pm 0,11}{2} = \pm 0,055\ dB$$

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.

$$u(\delta_{ES}) = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} \geq 0,00288\ dB$$

Siendo E_S la resolución del sonómetro o lo que es lo mismo el dígito menos significativo, cuando volcamos los datos.

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

$$u(\delta_{TS}) = \frac{\sigma_M \cdot \Delta_{PT}}{\sqrt{3}} = \frac{0,015 \cdot (23^\circ C - T_M)}{\sqrt{3}}$$

Donde σ_M es el coeficiente de variación con la temperatura y T_M 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.

$$u(\delta_{PS}) = \frac{\gamma_M \cdot \Delta_P}{\sqrt{3}} = \frac{0,019 \cdot (1013\ hPa - P_M)}{\sqrt{3}}$$

Donde P_M es la presión atmosférica de medida y γ_M el coeficiente de variación de la presión ponderado en frecuencia.

Tras realizar los cálculos de $u(\delta_{TS})$ y $u(\delta_{PS})$ mediante el promedio de la temperatura y presión atmosférica medida en cada día, se procede al cálculo de la incertidumbre debida a la instrumentación en cada punto como refleja la siguiente tabla.

Punto	W (dB)
P01	0,5
P02	0,5
P03	0,5
P04	0,5
P05	0,5
P06	0,5
P07	0,5
P08	0,5
P09	0,5
P10	0,5
P11	0,5
P12	0,5
P13	0,5
P14	0,5
P15	0,5
P16	0,5
P17	0,5
P18	0,5
P19	0,5
P20	0,5

Tabla 7. Incertidumbre debida a la instrumentación.

6.2. INCERTIDUMBRE DEBIDA A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

La incertidumbre típica debida a las condiciones de operación X se puede aproximar mediante la siguiente ecuación:

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

Siendo n el número total de vehículos ligeros y pesados que pasan en una hora.

Los resultados asociados a cada punto de la incertidumbre calculada debida a las condiciones de operación son los siguientes.

Puntos de medida	Promedio vehículos/hora (n)	X (dB)
P01	522	0,4
P02	2	7,1
P03	442	0,5
P04	52	1,4
P05	61	1,3
P06	97	1,0
P07	126	0,9
P08	55	1,3
P09	260	0,6
P10	67	1,2
P11	61	1,3
P12	134	0,9
P13	32	1,8
P14	59	1,3
P15	172	0,8
P16	107	0,9
P17	8	3,5
P18	42	1,5
P19	99	1,0
P20	56	1,3

Tabla 8. Incertidumbre debida a las condiciones de operación.

Dado que el número total de vehículos ligeros y pesados (n) es inversamente proporcional a la incertidumbre debida a las condiciones de operación (X), en los puntos de medida en los que se haya registrado un bajo caudal de tráfico (consultar tabla 4), como los puntos P02, P17 y P18, la incertidumbre será mayor y, por tanto, la incertidumbre combinada y expandida también lo será.

6.3. INCERTIDUMBRE DEBIDA AL CLIMA Y AL SUELO

La incertidumbre debida al clima y al suelo depende del tipo de terreno en que se realicen las medidas, de las condiciones meteorológicas que haya en ese momento de la medición y de la distancia existente entre la fuente a medir y el receptor.

Para una superficie del terreno considerada “dura” entre la fuente y la posición de medición, el valor de la incertidumbre se estima en $Y = 0,5$ dB hasta 25 m en situación baja y hasta 50 m en situación alta [20].

Se considera una situación alta aquella en la que tanto la altura del receptor como la de la fuente es igual o mayor que 1,5 m, o la altura de la fuente es menor de 1,5 m y la altura del receptor es de 4 o más metros. En el caso opuesto la situación baja es aquella en la que la fuente se encuentra a menos de 1,5 m de altura y el receptor a una distancia igual o menos de 1,5 m.

En nuestro caso, la distancia entre fuente y receptor es de menos de 25m en situación baja, por lo que la incertidumbre debida al clima y al suelo será de $n Y = 0,5$ dB en todos los puntos.

6.4. INCERTIDUMBRE DEBIDA AL SONIDO RESIDUAL

La incertidumbre debida al sonido residual varía en función de la diferencia que exista entre los niveles de ruido de la fuente emisora que se quiere medir, y los niveles de ruido de fondo procedentes de diferentes fuentes que se registran alrededor del entorno de medición.

Debido a que en este estudio no se han realizado las mediciones de ruido de fondo necesarias para cada punto, se estimarán estos niveles como el nivel de ruido residual empleando el percentil L_{A95} captado.

Antes de comenzar a calcular la incertidumbre asociada se debe 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. En caso de serlo, no se realiza ninguna corrección porque la incertidumbre resultante tendría un valor demasiado alto. En cambio, si la diferencia oscila entre 3dB y 10dB, se aplica la siguiente corrección:

$$L_C = 10 \log \left(10^{\frac{L_m}{10}} - 10^{\frac{L_r}{10}} \right)$$

Donde L_C es la presión sonora medida corregida, L_m es la presión sonora medida y L_r es la presión sonora residual.

A continuación, se calculará la sensibilidad del sonido residual de cada uno de los puntos con la siguiente ecuación.

$$C_r(dBA) = \frac{10^{\frac{L_r}{10}}}{10^{\frac{L_t}{10}} - 10^{\frac{L_r}{10}}}$$

Donde L_r es el nivel de presión sonora residual y L_t es el nivel de presión sonora total.

Una vez obtenidos estos datos, se calcula la incertidumbre del nivel sonoro residual Z_r que viene expresado de la siguiente manera:

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

Siendo σ_s la incertidumbre del nivel sonoro específico y σ_o la incertidumbre del nivel sonoro total medido real. La incertidumbre del nivel sonoro específico viene dado por la desviación estadística de los niveles de presión sonora corregidos. Y la incertidumbre del nivel sonoro total medido se calcula a partir de la desviación estadística de los niveles de presión sonora medidos.

Con todo ello, se puede calcular el valor de incertidumbre del nivel sonoro residual Z como la combinación del nivel total y el sonido residual (ver tabla 9).

$$Z = C_r \cdot Z_r$$

Punto	C_r (dB)	Z_r (dB)	Z (dB)
P01	0,02	0,00	0,00
P02	1,50	1,76	2,63
P03	0,02	0,00	0,00
P04	0,10	0,96	0,10
P05	0,03	0,00	0,00
P06	0,04	0,00	0,00
P07	0,02	0,00	0,00
P08	0,03	0,00	0,00
P09	0,02	0,00	0,00
P10	0,02	0,00	0,00
P11	0,14	2,01	0,29
P12	0,32	2,10	0,67
P13	0,07	0,00	0,00
P14	0,09	0,42	0,04
P15	0,04	0,00	0,00
P16	0,03	0,00	0,00
P17	0,34	4,81	1,63
P18	0,74	2,48	1,84
P19	0,12	1,96	0,23
P20	0,04	0,00	0,00

Tabla 9. Incertidumbre debida al sonido residual.

6.5. INCERTIDUMBRE COMBINADA Y EXPANDIDA

Con la incertidumbre típica calculada se procede a obtener el valor de la incertidumbre combinada para cada punto mediante la fórmula descrita a continuación.

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

Una vez obtenida la incertidumbre combinada, se multiplica por un factor 2 y se obtiene la incertidumbre expandida.

$$\sigma_e = \pm 2 \cdot \sigma_t$$

La siguiente tabla muestra los valores de incertidumbre combinada y expandida calculados.

Punto	σ_t (dB)	σ_e (dB)
P01	0,8	1,7
P02	7,6	15,2
P03	0,9	1,7
P04	1,6	3,1
P05	1,5	2,9
P06	1,2	2,5
P07	1,1	2,3
P08	1,5	3,0
P09	0,9	1,9
P10	1,4	2,8
P11	1,5	2,9
P12	1,3	2,6
P13	1,9	3,8
P14	1,5	2,9
P15	1,0	2,1
P16	1,2	2,4
P17	3,9	7,9
P18	2,5	5,0
P19	1,3	2,5
P20	1,5	3,0

Tabla 10. Incertidumbre combinada y expandida.

En la siguiente tabla se muestran los niveles sonoros equivalentes medidos junto con la incertidumbre expandida asociada.

Punto	L_{Aeq} (dBA)
P01	66,7±1,7
P02	52,2± 15,2
P03	64,8±1,7
P04	55,3±3,1
P05	57,4±2,9
P06	57,5±2,5
P07	57,8±2,3
P08	55,8±3,0
P09	65,3±1,9
P10	58,6±2,8
P11	62,3±2,9
P12	61,7±2,6
P13	59,5±3,8
P14	57,6±2,9
P15	61,6±2,1
P16	63,9±2,4
P17	54,5± 7,9
P18	60,2± 5,0
P19	59,3±2,5
P20	54,9±3,0

Tabla 11. Niveles sonoros equivalentes e incertidumbre asociada.

Como se ha explicado anteriormente en este capítulo (ver apartado 6.2) los puntos (P02, P17 y P18) en los que el flujo del tráfico rodado es bajo, la incertidumbre debida a las condiciones de operación sería alta, y por consecuencia, la incertidumbre expandida también al depender en su cálculo.

Estos puntos, aunque introducen un gran error en la medida se han considerado igualmente ya que son puntos de interés para completar la evaluación del impacto del ruido en la zona industrial.

7. SIMULACIÓN MEDIANTE PREDICTOR

En este capítulo se obtiene un mapa acústico de la zona de estudio (consultar capítulo 4) mediante el desarrollo con el programa *Predictor-LimA V 2019.3 7810-C* de un modelo de simulación, que nos permite predecir los niveles de presión sonora en los puntos medidos experimentalmente, introducidos como receptores en el software. Estos niveles de ruido son calculados mediante métodos de predicción en función de los caudales de tráfico de las diferentes vías de circulación recopilados en el trabajo de campo (ver anexo), teniendo en cuenta los diversos factores que afectan en el entorno como la absorción del terreno, el tipo de asfalto o la altura de los edificios.

Para predecir los niveles de presión sonora del tráfico, *Predictor* permite trabajar con diferentes normas y métodos de predicción. En este estudio siguiendo la recomendación del Real Decreto 1513/2005 [5] que desarrolla la Ley estatal del ruido, para el cálculo de la predicción del ruido de tráfico rodado se utilizará el método nacional de cálculo francés *NMPB* y su norma *XPS*.

El modelo de simulación de este proyecto se ha generado mediante la representación gráfica de las calles y zonas más significativas (donde predomina el ruido que afecta a la población) del municipio de Villalonga, complementado con la distribución espacial y temporal de las mediciones y el muestreo del flujo del tráfico de los vehículos. Los resultados de la simulación de este modelo han sido validados mediante la comparación de estos con los valores de los puntos medidos experimentalmente (**ver tabla 12 y figura 16**). Una vez validado el modelo de simulación se obtienen los mapas de ruido con los niveles sonoros para el periodo diurno y nocturno.

7.1. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN PREDICTOR

En este estudio se ha utilizado un modelo 3D con los principales elementos necesarios en la propagación del sonido de acuerdo con la norma ISO 9613-2, que se describen a continuación:

Modelo del terreno

Se ha utilizado una cartografía en 3D de la población de Villalonga del Instituto Valenciano de Cartografía con una resolución entre curvas de 5 metros.

Modelo de las Edificaciones

Las construcciones se han obtenido desde la sede electrónica del catastro del gobierno de España descargando el plano digital en formato *GIS*, que contiene en los metadatos la información de la geometría y plantas de cada edificio registrado en el catastro. Se ha elevado cada uno de ellos en altura incorporando esta información a las propiedades del objeto como una columna agregada a la tabla de atributos asociada al fichero *Shape(.shp)*.

Una vez importados estos archivos en formato *Shape* se obtiene un modelo digital del terreno en el programa *Predictor*, es decir, un mapa de la población de Villalonga con las zonas urbanas y sus respectivas parcelas construidas y sin edificar, y las áreas rurales. Con este mapa ya es posible obtener las simulaciones del ruido generado por el tráfico.

Lo siguiente para completar el mapa base es introducir en *Predictor* las alturas de los edificios, las carreteras principales y secundarias consideradas en el capítulo 4 con su flujo y velocidad límite del tráfico que las

recorren, los receptores en cada punto de medición seleccionados a la misma altura del suelo que el equipo de medición utilizado (1,5 metros), y las zonas verdes en función de su coeficiente de absorción (G). En la absorción del terreno se ha tenido en cuenta dos tipos de suelo:

- A las zonas urbanas consideradas como superficies reflectantes, donde se produce una reflexión acústica provocada por el pavimento, se ha considerado un factor de absorción de $G = 0$.
- En las zonas no edificadas, rurales o zonas con alta vegetación se han considerado como superficies absorbentes con un coeficiente de absorción de $G = 1$.

El resultado, una vez completado el mapa con todos sus objetos, es el siguiente.

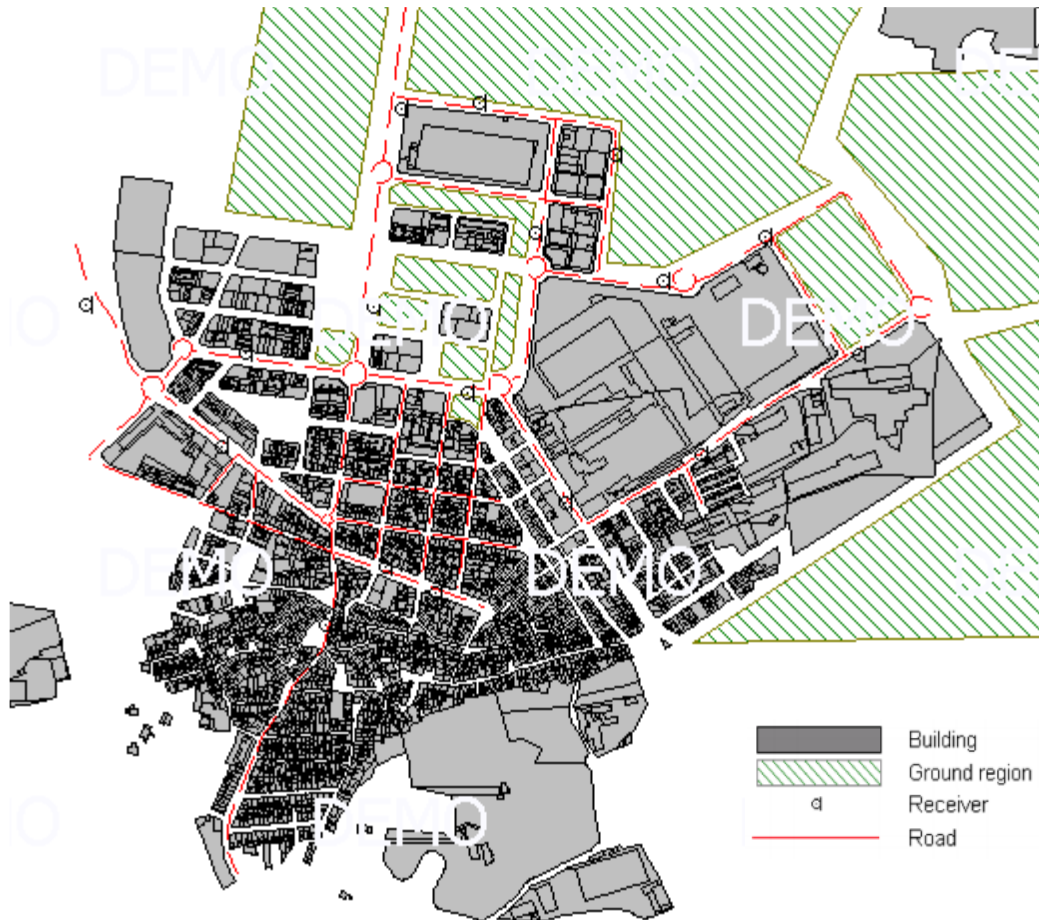


Figura 14. Representación gráfica del modelo de simulación.

7.2. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Dado el gran número de parcelas representadas (ver figura 14) y con el fin de obtener una mejor resolución en los resultados de la simulación, se ha dividido el área de estudio en dos zonas, una zona urbana y otra para el polígono industrial como se representa en la siguiente figura.



Figura 15. Zona urbana e industrial seleccionadas.

Para el cálculo de los niveles de presión sonora, se define en *Predictor* sobre el mapa elaborado una malla de cálculo con una interpolación de 10m x 10m a una altura de 4 metros cubriendo cada zona seleccionada.

Los resultados de la simulación se considerarán coherentes en diferencias en valor absoluto con los niveles experimentales menores o iguales a 3 dB(A), pudiendo validar así el modelo de predicción.

A continuación, en la siguiente tabla se presentan los valores medidos experimentalmente, los valores resultantes de la simulación del programa *Predictor* y la diferencia en valor absoluto entre los mismos.

Punto	L _{Aeq} (dBA) experimental	L _{Aeq} (dBA) simulado	Diferencia
P01	66,7	64,9	1,8
P02	52,2	51,4	0,8
P03	64,8	65,1	0,3
P04	55,3	54,5	0,8
P05	57,4	53,7	3,7
P06	57,5	56,6	0,9
P07	57,8	58,5	0,7
P08	55,8	58,4	2,6
P09	65,3	66,1	0,8
P10	58,6	61,3	2,7
P11	62,3	58,3	3,9
P12	61,7	60,2	1,5
P13	59,5	58,2	1,3
P14	57,6	57,8	0,2
P15	61,6	63,0	1,4
P16	63,9	58,5	5,5
P17	54,5	55,8	1,3
P18	60,2	58,8	1,4
P19	59,3	59,2	0,1
P20	54,9	54,2	0,8

Tabla 12. Comparación entre niveles medidos y simulados.

Como se puede comprobar en la anterior tabla en los puntos P05, P11 y P16 la diferencia entre los valores medidos y simulados no es menor a 3dB, puesto que el valor medido experimentalmente es mayor que la predicción de *Predictor* según el tráfico anotado. Esto es debido a que la localización del equipo de medida se situó próximo a las vías de circulación, donde particularmente transitan vehículos pesados (que generan mayor ruido que los vehículos ligeros), para cumplir con los 2 metros de distancia con la fachada exigidos por la ley autonómica (ver capítulo 3) y la norma UNE-ISO 1996-2. Como el flujo de tráfico tiene una cierta estabilidad en el periodo de evaluación, la localización del equipo de medición en estos casos sí que alteró el nivel de presión sonora continuo equivalente medido.

En la siguiente figura se muestra la correlación entre los niveles de ruido medidos y simulados mediante una recta de regresión.

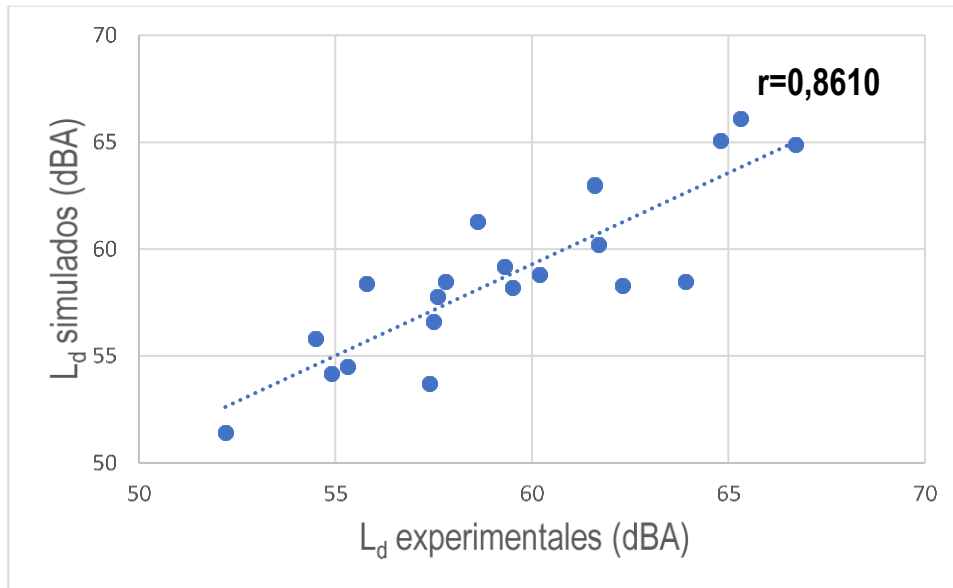


Figura 16. Recta de regresión entre los valores medidos y simulados.

Para medir el grado de relación entre los niveles medidos y los simulados, se realiza el cálculo de la correlación entre ambos valores en la que su índice de correlación (r) calculado se aproxima a 1 (ver figura 16), lo que nos indica que la dependencia entre los valores simulados y los medidos es directa, es decir, que cuando un valor aumenta, el otro también lo hace en proporción constante. De esta manera la simulación es validada y, por tanto, los mapas de nivel de ruido resultantes presentan una buena aproximación del ruido generado por el tráfico rodado en el municipio de Villalonga.

7.3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Con el modelo de simulación validado se obtienen los mapas de nivel de ruido del municipio de Villalonga para en primer lugar, el periodo diurno y en segundo el nocturno en las zonas definidas previamente. En cada uno de los mapas se observa una leyenda que corresponde al valor del nivel sonoro equivalente a cada color del mapa en las calles y carreteras más críticas.

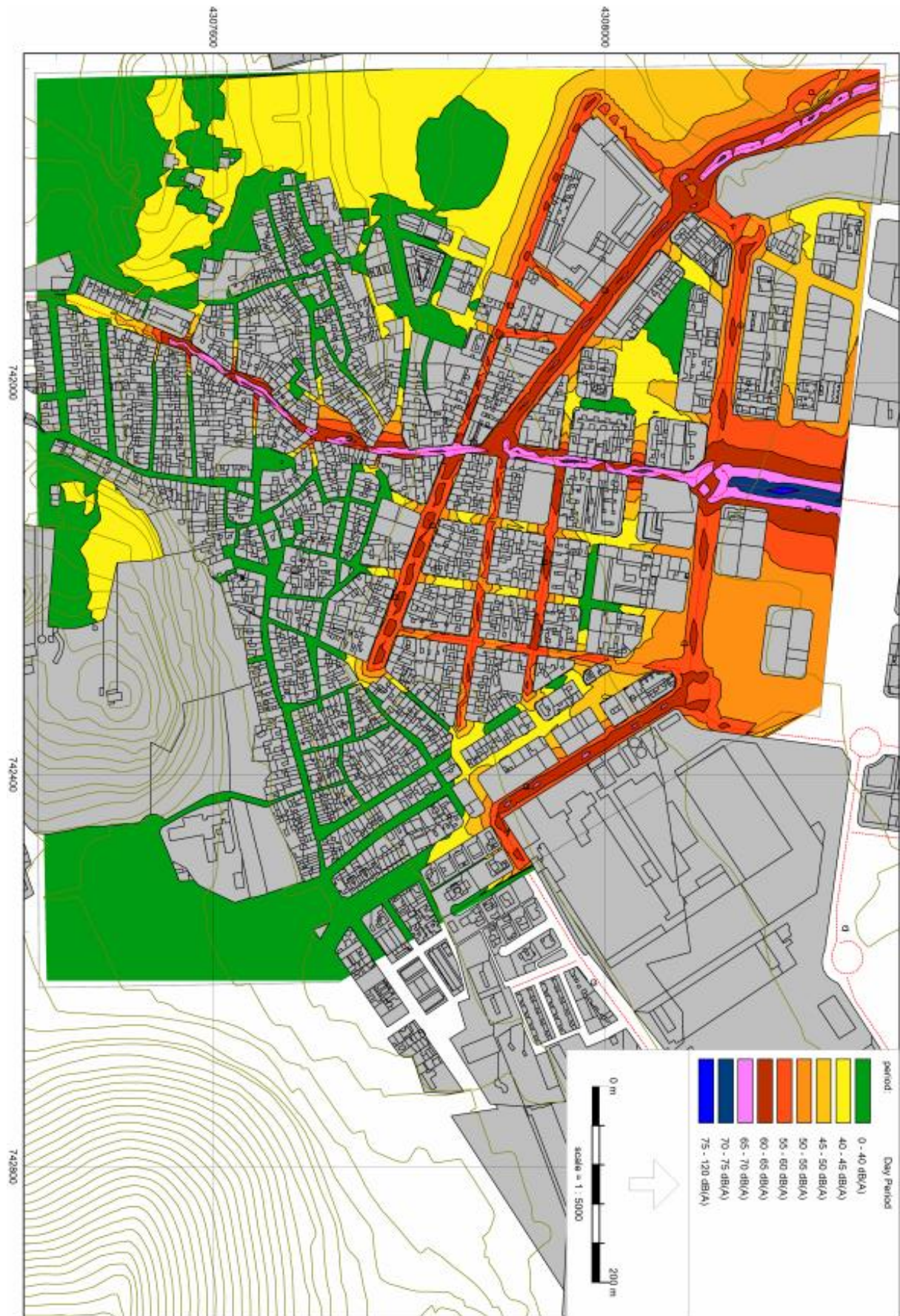


Figura 17. Mapa acústico de la zona urbana en el periodo diurno.

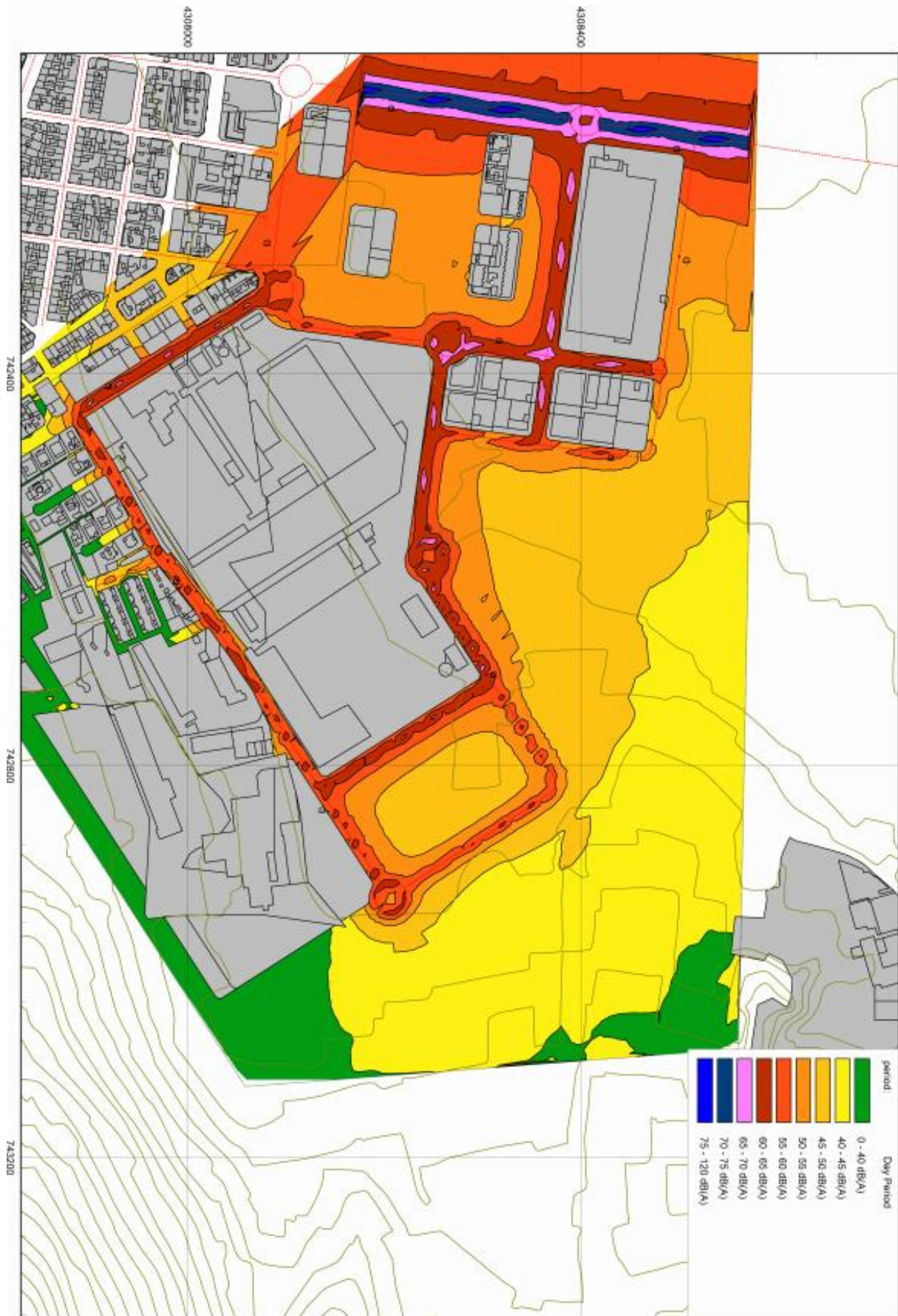


Figura 18. Mapa acústico de la zona industrial en el periodo diurno.

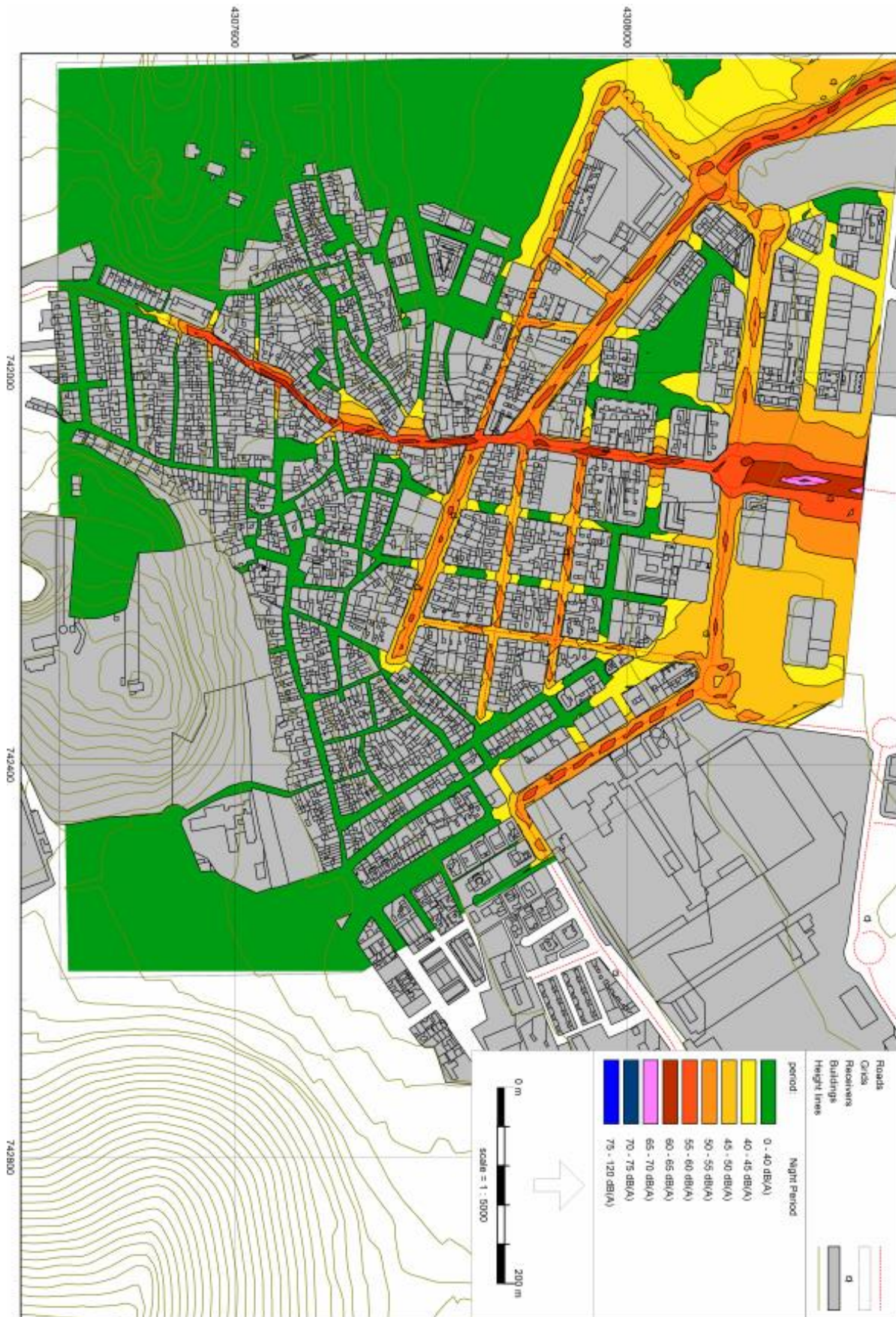


Figura 19. Mapa acústico de la zona urbana en el periodo nocturno.

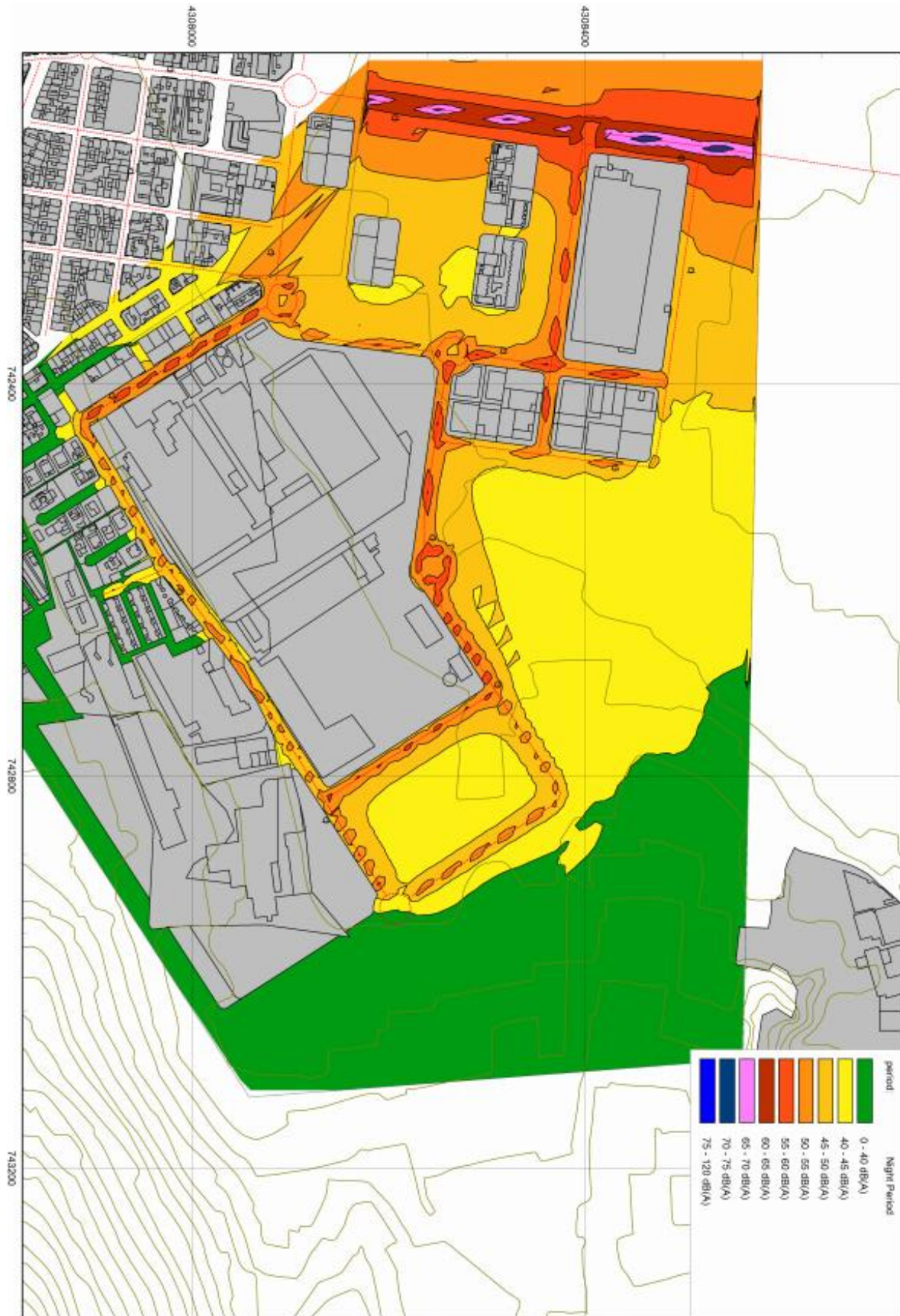


Figura 20. Mapa acústico de la zona industrial en el periodo nocturno.

7.4. CUMPLIMIENTO DE LAS NORMATIVAS

Las siguientes tablas estudian el cumplimiento de los niveles de ruido simulados a 4 metros en los puntos receptores tanto en el día como en la noche según la normativa estatal y autonómica (ver tablas 2 y 3), atendiendo al uso de cada zona en la que se encuentra cada punto.

Punto	Uso	L _{Aeq} simulado diurno (dBA)	L _{Aeq} normativa (dBA)		Cumplimiento	
			Estatal	Autonómico	Estatal	Autonómico
P01	Industrial	64,9	75	70	SI	SI
P02	Industrial	51,4	75	70	SI	SI
P03	Terciario	65,1	70	65	SI	SI
P04	Residencial	54,5	65	55	SI	SI
P05	Residencial	53,7	65	55	SI	SI
P06	Terciario	56,6	70	65	SI	SI
P07	Docente	58,5	60	45	SI	NO
P08	Sanitario	58,4	60	45	SI	NO
P09	Residencial	66,1	65	55	NO	NO
P10	Residencial	61,3	65	55	SI	NO
P11	Industrial	58,3	75	70	SI	SI
P12	Residencial	60,2	65	55	SI	NO
P13	Residencial	58,2	65	55	SI	NO
P14	Residencial	57,8	65	55	SI	NO
P15	Residencial	63,0	65	55	SI	NO
P16	Industrial	58,5	75	70	SI	SI
P17	Industrial	55,8	75	70	SI	SI
P18	Industrial	58,8	75	70	SI	SI
P19	Industrial	59,2	75	70	SI	SI
P20	Industrial	54,2	75	70	SI	SI

Tabla 13. Cumplimiento de los resultados simulados en el día con la normativa.

Punto	Uso	L _{Aeq} simulado nocturno (dBA)	L _{Aeq} normativa (dBA)		Cumplimiento	
			Estatal	Autonómico	Estatal	Autonómico
P01	Industrial	60,1	65	60	SI	SI
P02	Industrial	48,4	65	60	SI	SI
P03	Terciario	57,4	65	55	SI	NO
P04	Residencial	47,9	55	45	SI	NO
P05	Residencial	45,9	55	45	SI	NO
P06	Terciario	48,7	65	55	SI	SI
P07	Docente	50,8	50	35	NO	NO
P08	Sanitario	50,5	50	35	NO	NO
P09	Residencial	58,1	55	45	NO	NO
P10	Residencial	53,1	55	45	SI	NO
P11	Industrial	48,4	65	60	SI	SI
P12	Residencial	52,5	55	45	SI	NO
P13	Residencial	50,2	55	45	SI	NO
P14	Residencial	49,9	55	45	SI	NO
P15	Residencial	55	55	45	SI	NO
P16	Industrial	50,5	65	60	SI	SI
P17	Industrial	48	65	60	SI	SI
P18	Industrial	51,1	65	60	SI	SI
P19	Industrial	51,2	65	60	SI	SI
P20	Industrial	46,4	65	60	SI	SI

Tabla 14. Cumplimiento de los resultados simulados en la noche con la normativa.

8. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el estudio acústico se pondrá en valor los resultados obtenidos de la simulación comparándolos con los valores exigidos por las normativas vigentes. En primer lugar, como se refleja de manera ilustrativa en el capítulo anterior (consultar tablas 13 y 14), la diferencia en el cumplimiento de la legislación autonómica y estatal es notable debido a la diferencia de los valores sonoros máximos permitidos entre ellas.

En concreto, en la aplicación de la Ley 7/2002 de la Comunidad de Valencia, la cual es la más restrictiva, menos en la zona industrial y en las zonas consideradas con uso predominante terciario, los niveles sonoros en los demás puntos incumplen los niveles permitidos. En parámetros estadísticos, para el periodo diurno el 40% de los puntos medidos no cumple con la ley autonómica, de los cuales el 30% están situados en áreas residenciales. Y en el periodo nocturno el 55% de los puntos medidos no cumple con los niveles exigidos, siendo el 40% de los puntos situados en zonas urbanizadas. Lo cual demuestra que las zonas residenciales de Villalonga son ruidosas por superar los 55 dB(A) y 45 dB(A) permitidos, correspondientes al día y la noche.

En cambio, según la Ley 37/2003 de ámbito nacional, en el día se cumple en todos los puntos y áreas consideradas menos en el punto P09, que supera el nivel máximo permitido en 1,1 dB(A). Dicho punto situado en una zona residencial también supera el nivel regulado en el periodo nocturno, además de los puntos P07 y P08 situados en zonas sensibles a proteger (de uso docente y sanitario), superando los 50 dB(A) exigidos en 0,8dB(A) y 0,5 dB(A) respectivamente, sin considerarse un exceso de ruido.

En cuanto a la simulación realizada con el programa *Predictor* se obtiene de un modelo de predicción sonoro válido (como se demuestra con la figura 16), niveles de presión coherentes comparados con los niveles simulados (consultar tabla 12), y mapas acústicos en periodos diurno y nocturno que nos aportan una visión

general de los niveles de ruido generados por el tráfico rodado en las principales vías de circulación del municipio de Villalonga. De los mapas de ruido se deduce para el periodo diurno, lógicamente cuando mayor tráfico existe, que las vías más ruidosas (con niveles superiores a 70 dB) son los accesos al municipio, carreteras CV-680 y CV-685, alejadas de la exposición al ruido para la población, y la carretera de Gandia, que sí que se encuentra en el interior del municipio.

Para finalizar, de los resultados de este estudio se destaca el incumplimiento de los niveles exigidos por la ley autonómica en las áreas residenciales, y en especial interés las zonas (sensibles al ruido) de uso docente y sanitario, y por otra parte el cumplimiento de la ley estatal en el horario diurno de todos los puntos menos el punto P09. Por lo que se debería plantear ciertas modificaciones e intentar reducir los niveles a partir de ciertas medidas como se recomienda en el siguiente capítulo.

9. PROPUESTA DE MEJORA

De la obtención de los mapas de ruido desarrollados en este estudio, se obtiene una herramienta útil para la evaluación de la contaminación del ruido ambiental que nos permite proponer ciertas medidas para la reducción de los niveles acústicos a los que están expuestos los habitantes de Villalonga.

Como se deduce de los resultados obtenidos, el problema de la contaminación acústica debido al tráfico rodado se centra en las áreas residenciales del municipio de Villalonga. Entre las medidas para disminuir el tráfico de vehículos o reducir su impacto ambiental, se propone establecer límites más restrictivos de velocidad en el interior de la población evitando el uso de bandas sonoras, las cuales en muchos casos acaban suponiendo un aumento en el ruido ambiental, por el ruido de la amortiguación si no se superan a velocidades muy reducidas. O también la peatonalización de algunas calles, en particular, del Paseo Presbítero Giner, ya que es una zona de uso comercial y recreativo, además de ser una calle sin salida no exclusivamente necesaria en el acceso vehicular a las vías cercanas. Adicionalmente se debe plantear, impulsar el uso de medios de transporte con un impacto menor en los niveles de ruido como el uso de bicicletas y/o vehículos eléctricos, de los cuales estos últimos ya cuentan con una estación de recarga eléctrica (situado en la avenida Lorcha cerca del punto P15), para aportar una reducción en los niveles emitidos.

En las zonas residenciales cercanas a la zona industrial, como lo son las viviendas situadas en las calles Benifla, Cami Pla de la Font o en la avenida Blasco Ibáñez, se propone fomentar el reacondicionamiento en los edificios y las casas para la disminución del ruido percibido en su interior mediante subvenciones y ayudas, con el fin de mejorar el nivel de calidad de vida de sus residentes.

Además, en la avenida Blasco Ibáñez por la cual se desvían los camiones pesados desde el polígono industrial o las carreteras de acceso al municipio, se aconseja la creación de pantallas acústicas vegetales para conseguir así una mayor absorción del ruido en las parcelas cercanas edificadas y reducir su percepción en la población.

Por último, todas estas medidas serán útiles si son promovidas y apoyadas por la concienciación social de la población civil, y para ello es necesario la realización de campañas de información pública sobre los riesgos de la exposición a niveles de ruido excesivos, que han de ser fomentadas por las entidades gubernamentales y educativas.

BIBLIOGRAFIA

- [1]: Quiroz Rangel, Carlos Alberto (2018). Estudio de la Contaminación Acústica en la ciudad de Sueca. Tesis de máster. Universitat Politècnica de València. Escuela Politécnica Superior de Gandia.
- [2]: Núñez Sánchez, Miriam (2014). Plan acústico municipal de la población de Favara. Proyecto/ Trabajo fin de carrera/grado. Universitat Politècnica de València. Escuela Politécnica Superior de Gandia.
- [3]: Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de protección contra la contaminación acústica.
- [4]: Sistema de Información sobre Contaminación Acústica (SICA). Conceptos básicos del ruido ambiental.
- [5]: 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.
- [6]: Transparencias Poliforma-T de la asignatura de Ingeniería Acústica Ambiental del grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen impartida en la Escuela Politécnica Superior de Gandia.
- [7]: Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido.
- [8]: Norma española UNE-EN 61260/A1:2002. Electroacústica. Filtros de banda de octava y de bandas de una fracción de octava.
- [9]: European Agency for Safety and Health at Work (2006). Noise in figures.
- [10]: World Health Organization (1999). Guidelines for community noise.
- [11]: Organización Mundial de la Salud (2015). Escuchar sin riesgos.
- [12]: 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.
- [13]: DECRETO 19/2004, de 13 de febrero, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor.
- [14]: DECRETO 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.
- [15]: UNE-ISO 1996-2:2020. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de presión sonora.
- [16]: Portal de información de la Generalitat Valenciana (ARGOS). Banco de datos municipal. <http://www.argos.gva.es/bdmun/pls/argos_mun/DMEDB_MUNDATOSGENERALESDibujapagina?aNMuId=46255&aVLengua=C> [Consulta 10 de junio de 2021]
- [17]: Instituto Nacional de Estadística. Población del padrón continuo por unidad de población a 1 de enero del año 2020. <<https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2903>> [Consulta 10 de junio de 2021]
- [18]: Página web. MyGooglemaps. <https://www.google.com/intl/es_ES/maps/about/mymaps/> [Consulta 20 de mayo de 2021]
- [19]: UNE-ISO/IEC GUIA 98-3:2012 IN. Incertidumbre de medida. Parte 3: Guía para la expresión de la incertidumbre de medida.
- [20]: Vicente Aparici, Pablo (2010). Método y evaluación de la incertidumbre en acústica ambiental (Caso práctico). Proyecto/ Trabajo fin de carrera/grado. Universitat Politècnica de València. Escuela Politécnica Superior de Gandia.