

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

GRADO EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES, SONIDO E IMAGEN



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

Acústica Ambiental: Investigación sobre el ruido ambiental en el Centro Histórico de Gandia.

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor:

González Mazarías, Gema

Directores:

Martínez Mora, Juan Antonio

Diego i Tortosa, Dídac

GANDIA, 2019

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutores Juan Antonio Martínez Mora y Dídac Diego Tortosa la oportunidad de haber podido trabajar con ellos a lo largo de este proyecto, su colaboración y su disposición a toda hora ante cualquier duda que fue surgiendo. Gracias a este proyecto y su equipo de trabajo he sido capaz de adquirir y ampliar conocimientos en el campo de la acústica.

En segundo lugar, y no menos importante, me gustaría agradecerle el apoyo incondicional y su constancia para que no tire nunca la toalla a mi madre María Carmen Mazarías Salmerón, a mi hermano Javier González Mazarías a mi abuelo Santos Mazarías Taniñe y a la tita Mariana Concepción Mazarías Salmerón.

No me gustaría olvidarme de mis “dos Hermanos Mayores” que esta etapa me ha puesto en mi vida, mis hermanos “Telecos” Andrés Morillo Faro y Gaizka Conde López. Con ellos este camino ha sido mucho más llevadero y divertido, y han sido un gran apoyo junto a Natalia Fernández Polo y Sara Sánchez Muñoz en los momentos más complicados.

A mi prima Mar Escrivá González, un gran apoyo en estos últimos meses tan inciertos, ha sido la mejor enfermera que nadie pueda tener, regalando siempre esa sonrisa.

A Nicole Stefania Guzmán Quintero, por sus clases magistrales de AutoCAD que sirvieron de ayuda en este proyecto. Por ser mi toma a tierra aun con la distancia.

*A mi familia, en especial a mi madre.
A mis “dos hermanos mayores”.
A “Vasaluma”.
A Nani.
A mis amigos.*

*“Lo importante de una aventura, no es lograrlo,
sino conocer a cada persona y su historia
que te han llenado de vida durante
todo ese tiempo”.*

Acústica Ambiental: Investigación sobre el ruido ambiental en el Centro Histórico de Gandia.

Autor: González Mazarías, Gemai

Director 1: Martínez Mora, Juan Antonio

Director 2: Diego i Tortosa, Dídac

Resumen — La Contaminación Acústica, en la actualidad, es uno de los fenómenos más molestos y contaminantes que padecemos. El ser humano se encuentra expuesto en su día a día con gran afluencia en las urbes y lugares de trabajo. Llega a afectar a la salud de las personas con efectos fisiológicos y/o psicológicos. La molestia que puede llegar a causar este fenómeno no solo depende del nivel sonoro de la propia actividad en desarrollo, sino que también se ve afectado por su estado de ánimo. Hasta hace relativamente poco, no se le ha empezado a dar real importancia, pero ya se empiezan a tomar medidas de control por parte de la Administración y la población empieza a tomar conciencia del problema. Nuestras urbes padecen una falta de espacios libres, existe una gran mayoría de calles estrechas, todo ello sumado a la actividad y comportamiento incívico de algunos de sus ciudadanos, provocan que un gran porcentaje de habitantes se encuentren expuestos a niveles sonoros excesivamente altos. En este proyecto se estudia el efecto acústico que se origina en el Centro Histórico de la ciudad de Gandia, analizando los niveles sonoros actuales de la ciudad y proporcionando mapas acústicos. Además, se crea una comparativa con el estudio del año 2012, y se valora la evolución acústica respecto anteriores estudios llevados a cabo en los años 1985 y 2004.

Palabras claves: *Contaminación Acústica; Ruido; Salud; Mapas Estrategicos de ruido; Gandia.*

Abstract — Noise in cities is nowadays one of the most annoying and polluting phenomenon that we suffer. The human being is exposed in his daily life to high levels of sound pressure, which affects the health of people and may have physiological and/or psychological effects. The discomfort produced by the acoustic pollution depends both on the sound level of the human activity itself and by the mood of the persons. Due to its consequences, this phenomenon has recently started to receive more attention and public administrations are applying measures in order to prevent or correct it. Our cities suffer from a lack of free spaces and have a large number of narrow streets. These two factors, added to the activity and incivic behavior of its citizens, have as a consequence that a high percentage of inhabitants are exposed to excessively high noise levels. In this project, the acoustic environment in the Historical Center of the city of Gandia is studied by analyzing the current levels of sound and providing acoustic maps. This results of this study are compared to those of the project that was carried out in the year 2012, as well as with those of 1985 and 2004, in order to assess the evolution of the acoustic environment in this part of the city.

Keys words: *Acoustic Pollution; Noise; Health; Strategic Maps of noise; Gandia.*



¹ Autora: Gema González Mazarías.

e-mail: gegonma@epsg.upv.es

Fecha de entrega:

² Toda figura, tabla o ilustración en la cual no se indique la fuente de procedencia, se debe entender como elaboración propia.

³ La definición de las variables usadas en el presente documento aparecerá indicada una sola vez.

Contenido

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes y Objetivos.	1
Capítulo 2. Contaminación Acústica.	4
2.1.- Concepto de Contaminación Acústica.	4
2.2.- Fuentes de Ruido.	4
2.3.- Efectos Sobre la Salud.	5
2.4.- Indicadores de niveles sonoros usados en contaminación acústica.	6
Capítulo 3. Normativa y Legislación Acústica.....	9
3.1.- Ámbito Estatal.	9
3.2.- Ámbito Autonómico.	10
Capítulo 4. Ámbito de Estudio.....	11
4.1.- Gandia.	11
4.2.- División por zonas.....	12
4.2.1.- Zona 1: La Vila.	13
4.2.2.- Zona 2: La Vilanova.....	15
4.2.3.- Zona 3: El Raval.....	15
4.2.4.- Zona 4: El Prado.	16
Capítulo 5. Instrumentación y Método de Estudio.	17
5.1. Instrumentación utilizada.	17
5.2. Metodología empleada.	17
5.2.1. Duración y fecha de las muestras experimentales.....	17
5.2.2. Distribución espacial de los puntos de medida.....	18
5.2.3. Obtención de muestras experimentales.	18
5.2.4. Método de simulación.....	19
Capítulo 6. Resultados.....	21
6.1. Caudales de tráfico medidos.	21
6.2. Niveles de ruido experimentales.	22
6.3. Validación de la simulación.....	23
6.4. Cálculo de las Incertidumbres en las medidas experimentales.....	24
6.4.1. Incertidumbre típica debida a la instrumentación.....	25
6.4.2. Incertidumbre típica debida a las condiciones de funcionamiento.....	27
6.4.3. Incertidumbre debida al clima y al suelo.....	28
6.4.4. Incertidumbre típica debida al Sonido Residual.	28
6.4.5. Incertidumbre Combinada y Expandida.....	29
Capítulo 7. Mapas Estratégicos de Ruido (MER) del CH.....	30
7.1. Mapas de Ruido.	31
7.2. Cumplimiento de los niveles acústicos.....	33
7.3. Número de personas y superficie afectadas.....	35
7.4. Número de personas molestas.....	35
Capítulo 8. Comparativa de resultados con estudios anteriores existentes.....	37
8.1. Evolución histórica del ruido experimental en puntos específicos.....	37
8.2. Evolución histórica del número de personas molestas.....	39
Capítulo 9. Conclusiones.....	41
Referencias Bibliográficas.....	43

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1: ANATOMÍA DEL OÍDO. FUENTE: WWW.MEDICALOPTICA.ES/SALUD-AUDITIVA/COMO-FUNCIONA-EL-OIDO.....	5
FIGURA 2: EFECTOS DEL RUIDO EN EL SER HUMANO.....	6
FIGURA 3: RESPUESTA RELATIVA DE LOS FILTROS DE PONDERACIÓN.....	7
FIGURA 4: TÉRMINO DE GANDIA (DONDE SE ENCUENTRA EL NÚCLEO DE ESTUDIO. FUENTE: HTTPS://EBLANCOOLIVA.COM/.....	11
FIGURA 5: ÁREA SOMETIDA A ESTUDIO.....	12
FIGURA 6: ZONIFICACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO DE GANDIA.....	13
FIGURA 7: PRINCIPALES AFLUENCIAS DE LA ZONA 1.....	14
FIGURA 8: CALLEJERO DE LA ZONA 1. FUENTE: HTTP://WWW.ICV.GVA.ES/ES.....	15
FIGURA 9: CALLEJERO DE LA ZONA 3. FUENTE: HTTP://WWW.ICV.GVA.ES/ES.....	16
FIGURA 10: ESTRUCTURA DEL PASEO GERMANIAS.....	16
FIGURA 11: PUNTOS DE MEDICIÓN.....	18
FIGURA 12: DIFERENCIA MEDICIONES "IN SITU" VS. SIMULACIÓN.....	23
FIGURA 13: CORRELACIÓN ENTRE MEDIDAS EXPERIMENTALES ("IN SITU") Y SIMULADO (SOFTWARE).....	24
FIGURA 14: MAPA ZONA DE ESTUDIO DE LA CIUDAD DE GANDIA MODELADO EN 3D PARA SU SIMULACIÓN EN PREDICTOR.....	31
FIGURA 15: MAPA NIVEL DE DÍA DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE GANDIA.....	31
FIGURA 16: MAPA DE NIVEL DE NOCHE DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE GANDIA.....	32
FIGURA 17: NIVEL DE 24H EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE GANDIA.....	32
FIGURA 18: DISTRIBUCIÓN DE NIVELES PERIODO DIURNO EN DBA.....	33
FIGURA 19: DISTRIBUCIÓN DE NIVELES PERIODO NOCTURNO EN DBA.....	33
FIGURA 20: COMPARATIVA CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA.....	35
FIGURA 21: PORCENTAJE DE POBLACIÓN MOLESTA Y MUY MOLESTA.....	36
FIGURA 22: COMPARATIVA HISTÓRICA.....	39
FIGURA 23: COMPARATIVA HISTÓRICA DE POBLACIÓN MOLESTA Y MUY MOLESTA.....	40

TABLAS

TABLA 1: NIVELES OBJETO DE CALIDAD ACÚSTICA APLICABLES AL TERRITORIO NACIONAL SEGÚN EL REAL DECRETO 1367/2007.....	10
TABLA 2: NIVELES OBJETO DE CALIDAD SEGÚN LEY 7/2002.....	10
TABLA 3: TIPO DE CALLES DE LA ZONA 3.....	16
TABLA 4: PUNTOS DE MEDICIÓN.....	18
TABLA 5: CAUDAL DE TRÁFICO RODADO.....	22
TABLA 6: NIVEL <i>L_{Aeq}</i> MEDIDO POR PUNTO.....	23
TABLA 7: DIFERENCIA MEDICIONES "IN SITU" VS. SIMULACIÓN MICRÓFONOS A 1,5 M.....	23
TABLA 8: DESCRIPCIÓN DE INCERTIDUMBRES.....	25
TABLA 9: RESULTADOS DE INCERTIDUMBRES.....	29
TABLA 10: ANÁLISIS CUMPLIMIENTO DE LA AUTONÓMICA VIGENTE.....	34
TABLA 11: POBLACIÓN Y SUPERFICIE EXPUESTA A LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA.....	35
TABLA 12: ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE PERSONAS MOLESTAS Y MUY MOLESTAS EN LA SUPERFICIE BAJO ESTUDIO.....	36
TABLA 13: REVISIÓN HISTÓRICA DE LOS NIVELES DE RUIDO EN HORARIO DIURNO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE GANDIA.....	39
TABLA 14: NIVELES DE RUIDO EN ZONIFICACIÓN PARA CAMPAÑA DE MEDICIONES DE 2011.....	40

Capítulo 1. Introducción.

Se inicia el recorrido de este proyecto, definiendo qué es la Acústica. La Acústica se define como la parte física que estudia el sonido. El propósito de la acústica urbanística y ambiental es lograr que un entorno sea, sonoramente hablando, confortable para sus habitantes.

Es importante también, hacer hincapié en la diferencia que existe entre lo que es sonido y lo que es ruido. El sonido se define como el fenómeno físico producido cuando las partículas de un elemento empiezan a vibrar de forma determinada. Esta vibración se propaga por un medio hasta llegar a un receptor, y en este se dará lugar su percepción. Sin embargo, el ruido se trata de cualquier sonido percibido de forma no deseable; es decir una vibración o sonido molesto o que incluso puede llegar a ser perjudicial para la salud del receptor [1].

La Contaminación Acústica, se define como la composición de ruidos o vibraciones que se producen al realizar las diferentes actividades ruidosas que se generan en el día a día. Gracias a los estudios realizados en los últimos años por las administraciones europeas, sabemos que la contaminación acústica, es un fenómeno que afecta gravemente al ser humano [2], por ello se han empezado a tomar medidas de prevención, control y reducción, ya que en las últimas décadas se ha llegado a dar un gran número de habitantes expuestos a niveles de ruido excesivamente altos. Para ello se hace uso de las normativas desarrolladas a nivel europeo, traspuestas al ámbito nacional y autonómico (explicadas en el *Capítulo 3*), las cuales pretenden regular las emisiones de ruido producidas por la actividad humana.

Es por ello que en este trabajo se lleva a cabo la evaluación actual de la contaminación acústica medioambiental que se genera en la ciudad de Gandia, más concretamente en los barrios del Centro Histórico (CH), realizando las pertinentes campañas de mediciones con los sonómetros con los que cuenta la Universitat Politècnica de València en su campus de Gandia, que son aparatos de medida que sirven para medir y cuantificar el ruido ambiental, se suelen configurar para medir los niveles sonoros. Con los datos registrados y analizados se procederá a obtener los mapas de ruido (MR) de la superficie bajo estudio. Estos MR indican la distribución de la contaminación sonora en la superficie del territorio, lo que permitirá expandirlo a un Mapa Estratégico de Ruido (MER), donde se indique además la estimación del número de habitantes afectados (dato objetivo) y molestos (dato subjetivo). Finalmente, se realizará una comparativa con los niveles históricos de ruido registrado durante las campañas anteriores en la ciudad para concluir si se ha conseguido mejorar los niveles registrados con anterioridad.

1.1. Antecedentes y Objetivos.

De acuerdo con estudios de la Comisión Europea, se ha demostrado que uno de los mayores problemas medioambientales es el ruido producido por los medios de transporte y las actividades industriales [2].

Según los estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en el año 2016, en España existía un automóvil cada dos habitantes [3]. Estos datos nos hacen reflexionar sobre la mayoría de nuestras ciudades, las cuales no fueron planificadas para soportar los miles y miles de vehículos que en la actualidad circulan por sus calles, alcanzando niveles sonoros insoportables por el ser humano.

El objeto del planeamiento urbanístico es la ordenación de los territorios y sus usos, tiene en cuenta una multitud de factores que pueden llegar a afectar la convivencia entre seres humanos, entre los que destaca la compatibilidad acústica.

En el caso de la ciudad de Gandía, en 1981 se empieza con la elaboración del *Plan General de Ordenanza Urbana* (PGOU) donde se incluyen los criterios acústicos en el diseño urbanístico. Ante la problemática de su centro Histórico; el Ayuntamiento de Gandía presentó el *Pla Especial de Reavitalització i Millora del Medi Urbà* (PERIMMU), aprobado en 1984; y se crea el primer mapa de ruido de la ciudad de Gandía [4]. Este plan, todavía vigente, tiene como objetivos:

- I. La protección del medio urbano y su conservación.
- II. Evitar la pérdida de población en su zonificación.
- III. Conservar el patrimonio histórico edificado.
- IV. Mejorar las condiciones ambientales.

En 1989, se elabora el *Programa de Renovación de la Ciudad Medieval de Gandía* (PRU), con la colaboración de la Generalitat Valenciana, donde se incluyen los barrios de *La Vila* y *La Vila Nova*. En 1995, se amplía su ámbito y, se incluyen en la zonificación, los barrios de *El Raval* y *L'Eixample*. Además, se declara zona de interés histórico-artístico y ambiental [5]. Este programa de actuaciones se centra en:

- I. La rehabilitación de viviendas, bajos comerciales, fachadas y cubiertas.
- II. La adecuación y mejora de la propuesta urbanística ya existente.
- III. La rehabilitación de edificaciones monumentales.

Si hablamos de la ciudad de Gandía, se trata de una ciudad de tamaño medio, con un total de 73.829 habitantes (INE 2018), en la cual su Centro Histórico se ve afectado por la contaminación acústica. Este hecho queda registrado en los primeros mapas acústicos realizados en la ciudad: el primero de ellos, realizado a modo experimental en el año 1985 (PERIMMU), y el segundo, en el año 2004. Posteriormente, en el año 2012 se presentó el *Trabajo Final de Máster* (TFM) elaborado por el alumno D. Joaquín López Ibáñez [6], quien actualmente ocupa el puesto de *jefe de sección de actividades*, en el departamento de urbanismo y actividades, del Ayuntamiento de Gandía. Éste trabajo sirvió para actualizar la situación acústica del año 2004, casi 8 años después. En marzo de 2017, el Ayuntamiento de Gandía anuncia la creación del último mapa acústico de la ciudad actualizado, y este se publica en noviembre de 2018. Con este último mapa se pretendía; por un lado, dar cumplimiento legislativo bajo las exigencias europeas impuestas por las normativas aplicadas, tanto a nivel nacional como autonómico, y la legislación de revisión y modificación de los mapas acústicos. Por otra parte, también se buscaba dejar a disposición de ciudadanos y responsables en la gestión de contaminación acústica, la exposición de ruido ambiental evaluado y posibilitar la adopción de planes de acción al respecto. En él se trata el estudio y la valoración acústica del CH de Gandía, el esfuerzo por recuperar espacios para los ciudadanos y la reducción de tráfico rodado y limitación de su velocidad por sus calles. Así pues, se deduce, que disminuyendo los niveles de tráfico se espera reducir los niveles de contaminación acústica, pero debido a la peatonalización y restricciones de circulación, se favorece la actividad comercial, lo cual conlleva consigo un incremento del ruido doméstico.

El presente trabajo, se realizará en dos fases: una primera, en la que se ejecutará una campaña de medidas acústicas experimentales en el CH de Gandía, y una segunda, donde, mediante la simulación por software de predicción acústica se efectuará un mapa de ruido. Una vez elaboradas estas dos fases, se analizarán los resultados y se compararán con los del TFM elaborado por D. Joaquín López Ibáñez en 2012. También se valorará la evolución del ruido mediante los datos acústicos del PERIMMU y el PRU de Gandía, y su primer mapa acústico en el año 2004.

El **objetivo principal** de este proyecto es cuantificar de forma experimental y simulada el ruido que tiene como fuente principal el tráfico rodado en el CH de la ciudad de Gandia.

Como **objetivo secundario**, se tratará de actualizar las mediciones realizadas en campañas anteriores y se procederá a comparar los valores, para estudiar la evolución del fenómeno de contaminación medioambiental por ruido en la ciudad.

Para alcanzar estos objetivos, este proyecto se ha estructurado en un total de 9 capítulos:

- *Capítulo 1 "Introducción"*: (Capítulo presente) consiste en una introducción al tema de estudio en el que se basa el documento, haciendo hincapié en todos aquellos temas de los que se hablarán en los siguientes capítulos, comentando los antecedentes en los que se basa este documento, y los objetivos que pretende desarrollar.
- *Capítulo 2 "Contaminación Acústica"*: Se procederá a realizar un estudio más profundo de la contaminación acústica, ¿Qué es? ¿Qué o quiénes la originan? ¿Qué efectos tiene sobre la salud humana?
- *Capítulo 3 "Normativa y Legislación Acústica"*: En este apartado, se hablará del marco jurídico en el que se basa y fundamenta la acústica ambiental.
- *Capítulo 4 "Ámbito de Estudio"*: Se exponen las zonas sometidas a estudio; en este caso, el Centro Histórico de la ciudad se va a dividir en cuatro zonas. La primera de ellas será *La Vila*, que junto a la segunda zona, *La Vila Nova*, forman el casco antiguo, centro neurálgico de la ciudad; seguidamente se realizarán los estudios de las zonas tres y cuatro, *El Prado* y *El Raval*, barrios colindantes al casco antiguo.
- *Capítulo 5 "Instrumentación y Método de estudio"*: Se expondrá la metodología utilizada para recoger las mediciones experimentales y se explicará la forma de analizar toda la información de la superficie en estudio. Además, se hablará de la instrumentación que fue necesaria utilizar para la recogida de medidas, como para la gestión y análisis de la información.
- *Capítulo 6 "Resultados"*: Se explicarán los resultados obtenidos, y se analizarán, comparando, los datos de manera experimental (*in situ*) con los datos de las simulaciones, validando así el método de simulación.
- *Capítulo 7 "Mapas Estratégicos de Ruido (MER) del CH"*: Se expondrán los Mapas Estratégicos de Ruidos.
- *Capítulo 8 "Comparativa de resultados con estudios anteriores existentes"*: Se compararán los resultados obtenidos en este proyecto, con los que fueron adquiridos por los estudios anteriores.
- *Capítulo 9 "Conclusiones"*: Finalmente, se expondrán medidas de recomendación para reducir y/o controlar la actual situación de la contaminación acústica y se mostrarán las conclusiones más relevantes del proyecto.

Capítulo 2. Contaminación Acústica.

2.1.- Concepto de Contaminación Acústica.

Si se habla en términos generales de la contaminación, ésta consiste en una alteración nociva del medio, producida por agentes físicos. Específicamente, si se habla en términos acústicos, se entiende que la contaminación acústica es “*la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones que impliquen molestia o daño para las personas, el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza o que causen efectos significativos en el medio ambiente.*”, según explica el BOE (*Boletín Oficial del Estado*) en Agosto del año 2019 [7].

Por tanto, cualquier fuente que emita sonido o vibraciones, va a poder causar efectos nocivos para el ser humano. Por ello, las características del sonido emitido determinaran si se está produciendo contaminación acústica en el medio.

La acústica urbanística trata, mediante un conjunto de técnicas y métodos, crear ambientes sonoros adecuados. Con la aplicación de estas técnicas y métodos, se puede llegar a modificar el ambiente sonoro urbano de forma positiva, diseñándolo para reducir los niveles de ruidos molestos en los espacios urbanos. El primer paso para el estudio de la contaminación acústica en el medio será realizar un diagnóstico de la situación que existe en ese mismo momento, este proceso, normalmente se lleva a cabo mediante mapas sonoros, los cuales, indican los niveles de ruido existentes en la zona de evaluación (*Capítulo 7*).

2.2.- Fuentes de Ruido.

Se entiende por ruido, “*un sonido no deseado*”; está es la definición más utilizada que se puede encontrar, acorde a los efectos que producen. Además de causar molestias, el ruido puede causar daños en la salud, llegando éstos a ser irreversibles, por ello está considerado un riesgo laboral no mortal [8].

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, que pueden ser **puntuales**, donde la potencia de emisión sonora se genera en un punto de forma esférica, lo que supone rápida atenuación según nos alejemos de ella, o pueden considerarse **lineales** si se radian de forma cilíndrica a lo largo de una línea imaginaria (eje).

Las fuentes de ruido artificiales existentes son las siguientes:

- Tráfico rodado.
- Tráfico ferroviario.
- Tráfico aéreo.
- Construcción e industria.
- Servicios.

- Actividades lúdicas.

Habiendo mencionado estas fuentes, vamos a centrarnos en las que afectan a la zona de estudio:

- **El tráfico rodado**; uno de los mayores problemas de la contaminación acústica, dado que es el más extendido y afecta especialmente en zonas urbanas. Fundamentalmente, este tipo de ruido se encuentra provocado por el ruido mecánico que proporcionan los vehículos a bajas velocidades (< 70 km/h), junto al ruido aerodinámico y de rodamiento, que se genera con las altas velocidades (> 70 km/h).
- **Los servicios**, ruido procedente de comercios, bares y restaurantes, es aleatorio y se da de forma puntual. Y por último, **las actividades lúdicas**, éstas representan características singulares dependiendo de cada caso. Es imprescindible conocer la localización y niveles de las diferentes fuentes de ruido, para poder actuar directamente e implementar medidas correctoras.

Debido a la gran afluencia del tráfico de vehículos de transporte rodado, las calles grandes, avenidas y autovías/autopistas en zonas urbanizadas se considerarán fuentes lineales de ruido. Esta característica facilita su estudio mediante softwares que permiten evaluarlo de forma fiable y generar durante los periodos del día con simplemente tomar muestras experimentales representativas y realizar promedios energéticos, evitando tener que monitorear el estado actual del ruido en tiempo real. Dado que el ruido de tráfico rodado en las zonas urbanas de estudio es el predominante sobre otras fuentes (temporal y potencialmente hablando), será el considerado en los Mapas Sonoros.

2.3.- Efectos Sobre la Salud.

El ruido no tiene como única consecuencia una molestia, de hecho, de ser así, no se trataría como agravante a reducir, ya que cuando se habla de un *sonido molesto*, se está hablando de una percepción subjetiva sujeta a valores extras, tales como la calidad de la audición del usuario, su estado de ánimo, la actividad que realiza, su nivel de concienciación, etc. Sino que también puede causar graves efectos sobre la salud humana.

Para explicar esto, se empezará mostrando de forma genérica la anatomía del sistema auditivo humano: que consta del oído y las vías auditivas del cerebro, el oído es el órgano que permite transmitir los sonidos al cerebro y las vías auditivas nos permiten percibirlos, y seguidamente se enumeraran algunas causas nocivas para nuestra salud y audibilidad.

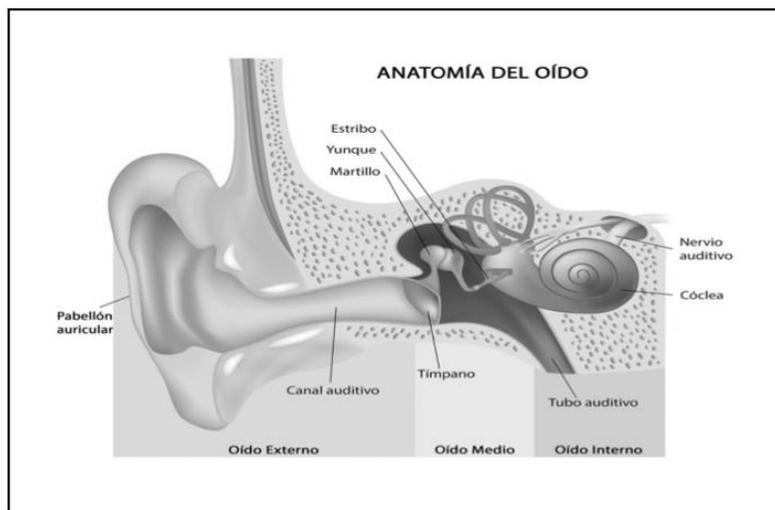


Figura 1: anatomía del oído. Fuente: www.medicaloptica.es/salud-auditiva/como-funciona-el-oido.

El mecanismo auditivo humano se compone de tres partes (ver *Figura 1*): el oído externo y medio, responsables de la captación de los sonidos (*toma de datos*), seguidamente encontramos el oído interno, encargado de convertir esa información captada (*conversión de la información*) y enviársela al cerebro mediante impulsos, última parte del sistema, que funciona como un (*ordenador central*), y se encargará de procesar toda esa información.

De esta forma la onda que percibe el ser humano en su pabellón auditivo penetra por el canal auditivo, y cruza el oído externo hasta llegar al tímpano, el cual empezará a vibrar; esta vibración se transmite por el oído medio hasta el oído interno, mediante el movimiento del martillo, yunque y el estribo, pequeños huesos dentro del oído. Finalmente, en el oído interno se produce una conversión de esas vibraciones, esos impulsos mecánicos en excitaciones nerviosas, que serán las que se enviarán al cerebro, que procesará esa información. Es decir; la función del sistema auditivo es convertir las variaciones de presión provocadas por la onda acústica recibida en sensaciones de sonido. Se deberá tener en cuenta las amplitudes de las variaciones de presión y las frecuencias de esa onda acústica, debido a que van a influir en el nivel de molestia percibido. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se habla de niveles sonoros dañinos para el oído cuando en el ambiente se empiezan a superar los 60 dBA (con exposiciones de 24H), provocando así un deterioro auditivo. Superando niveles de 125 dBA, esa percepción del ruido comienza a ser dolorosa, hasta llegar a los umbrales de dolor cuando se superan los 140 dBA, a partir de los cuales se puede llegar a causar una sordera total irreversible, debida a la perforación del tímpano [9].

Se puede hablar en términos sanitarios, que este efecto puede llegar a ser dañino para la salud, produciendo daños muy graves para el individuo que lo sufre. En la siguiente figura (ver *Figura 3*), se enumeran los diferentes efectos que puede llegar a tener el ruido en el ser humano.

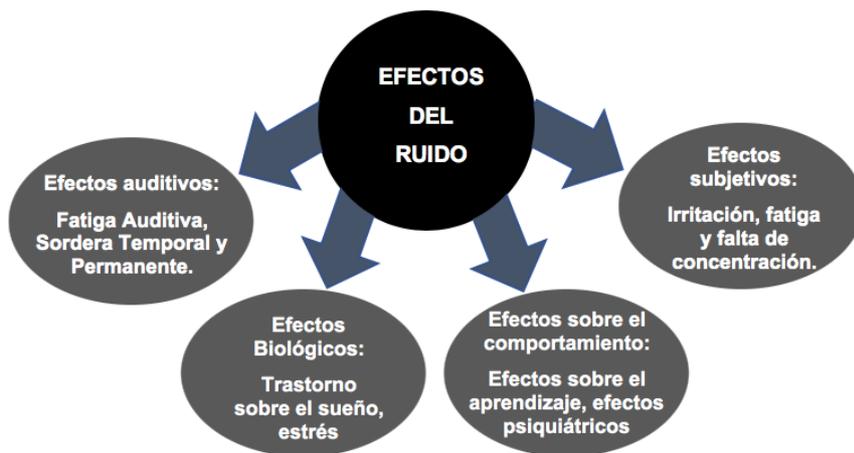


Figura 2: Efectos del Ruido en el ser humano.

Es por ello, que la priorización por parte de las administraciones en estos últimos años se encuentra relacionada con la mitigación de ruidos y así proteger la vida de los habitantes y mejorar su calidad de vida.

2.4.- Indicadores de niveles sonoros usados en contaminación acústica.

Dado que el ruido es una magnitud física que, a diferencia de otras, presenta variaciones importantes, tanto en tipo de ruido como en su magnitud, en función del tiempo de exposición, existe la necesidad de fijar unos límites máximos de exposición. Por ello, existe la necesidad de usar indicadores sonoros (parámetros) para su cuantificación, y así poder valorar el ruido de una forma objetiva.

A continuación, se presentan los principales parámetros que son utilizados para evaluar el nivel de ruido ambiental:

- L_{eq} o L_{Zeq} (Nivel continuo equivalente): Se trata del nivel de presión sonora equivalente sin ponderación. Varía con cada instante de tiempo, y para cierto tiempo determinado, posee la misma energía total que el ruido fluctuante medido (ver ecuación 1).

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \right) \quad (1)$$

Donde T es el intervalo de medida; $P(t)$ es la presión sonora para el instante t y P_0 es la presión de referencia (en el aire, $20 \mu Pa$).

- L_{Aeq} (Nivel continuo ponderado en A): Se trata del nivel de presión sonora equivalente, al cual se le ha aplicado un filtro de ponderación A. Dicha ponderación penaliza el ruido a bajas y altas frecuencias y, por ende, realza el nivel de las frecuencias medias. Usando esta ponderación se consigue asemejar el nivel de ruido como lo percibiría el oído humano, por lo que éste índice es el más común en estudios de contaminación acústica.
- L_{Ceq} (Nivel continuo ponderado en frecuencia C): Esta vez, al nivel de presión sonora equivalente, se le aplica un filtro de ponderación C. La ponderación 'C' es la estándar de las frecuencias audibles usadas comúnmente para la medición del nivel de presión sonora. Esta ponderación se utiliza en la acústica arquitectónica para medir los componentes de baja frecuencia en la actividad.

Así pues, los sonómetros. En la siguiente figura (ver Figura 3), se pueden observar las tres redes de ponderación de las cuales disponen los sonómetros. [10]

- A: para sonidos débiles. Se aproxima a la curva de audición de baja sensibilidad.
- B: para sonidos medios. Se aproxima a la curva de audición de media sensibilidad. En la actualidad, esta ponderación se encuentra en desuso.
- C: para sonidos intensos. Se aproxima a la curva de audición de alta sensibilidad.

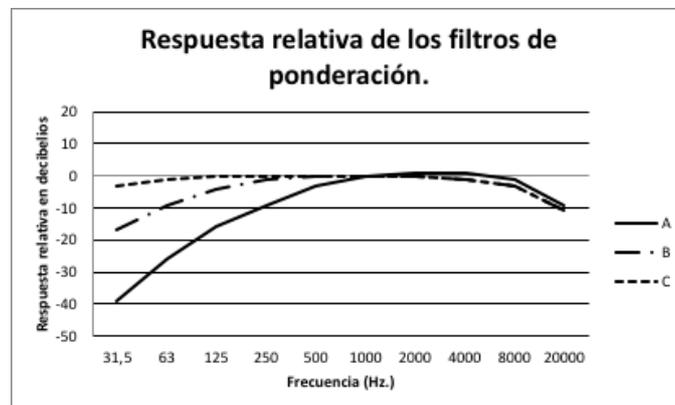


Figura 3: Respuesta relativa de los filtros de ponderación.

- L_{Fmax} y L_{Fmin} (Nivel de presión sonora de pico máximo y mínimo): Con este nivel de presión se representa el nivel máximo y mínimo de pico del nivel de presión sonora que se registra durante el periodo de medición.
- $L_{N\%}$ (Nivel de percentil estadístico): Es el nivel por percentiles de tiempo, e indica los niveles de ruido que se alcanzan pasado N% del tiempo total de la medición.

Además de estos niveles sonoros⁴, existen otros que vienen definidos por la Comisión Europea (Directiva 2002/49/CE) y usados en el ámbito estatal (Real Decreto 1513/2005) por el que se desarrolla la Ley Estatal (Ley 37/2003):

⁴ Todos los niveles de presión sonora se expresan en dB. Si se encontrasen ponderados, se expresaría como dBA o dBC, según la ponderación.

- L_d (L_{day}): Se trata del nivel sonoro medido a lo largo plazo en periodo diurno y de ponderación A definido en la norma ISO 1996-2:1987. Este periodo se desarrolla entre las 7:00 a 19:00 horas.
- L_e ($L_{evening}$): Se trata del nivel sonoro medido a lo largo plazo en periodo de tarde y de ponderación A definido en la norma ISO 1996-2:1987. Este periodo se desarrolla entre las 19:00 a 23:00 horas.
- L_n (L_{night}): Se trata del nivel sonoro medido a lo largo plazo en periodo nocturno y de ponderación A definido en la norma ISO 1996-2:1987. Este periodo se desarrolla entre las 23:00 a 7:00 horas.
- L_{den} (Nivel sonoro equivalente día, tarde y noche): Este nivel indica el nivel sonoro medido durante las 24 horas del día y se expresa en dBA. Contempla cierta penalización a los niveles L_e y L_n , dado su grado de molestia percibida durante horas “no laborables”. Para poder obtener su valor, se utiliza la siguiente ecuación (ver *ecuación 2*):

$$L_{den}(dBA) = \log_{10}\left(\frac{12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}}}{24}\right) \quad (2)$$

Capítulo 3. Normativa y Legislación Acústica.

En este capítulo, se procede a analizar las diferentes leyes de protección contra la contaminación acústica vigentes a nivel autonómico y estatal por las cuales se rige la ciudad de Gandia.

Todas ellas vienen dirigidas desde La Comisión Europea, que pretende regular las emisiones de ruido producidas por la actividad humana. La legislación que propone la Comisión Europea ha ido evolucionando con los años. Desde 1992, que se aprobó el programa de acción en relación con el medio ambiente y su desarrollo sostenible. Dicho programa contaba con un objetivo principal: impedir la exposición de la sociedad a niveles superiores a 65 dBA durante el día (*Lden*) [11]. Unos años después, 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 [12]. Finalmente, en el año 2002, es cuando se presenta la Directiva 2002/49/CE, la cual pretende armonizar los métodos de evaluación [13].

Cabe destacar, que la Ley Europea debe respetarse, es decir, no se puede dar más libertad que ésta a nivel estatal. De igual forma, una ley a nivel autonómico no puede aliviar la restricción estatal. Esto significa, que las leyes de niveles inferiores deberán respetar los niveles de las leyes de niveles superiores, por lo que las leyes de ámbito local, en este estado, deben respetar las leyes autonómicas, las cuales se encuentran a un nivel superior.

3.1.- Ámbito Estatal.

Es en el año 2003, exactamente el 18 de Noviembre, cuando se publica la LEY 37/2003 frente a la contaminación acústica [14]. Posteriormente, y en base a complementar la ley anterior, se publican los REALES DECRETOS 1513/2005 [15], 1367/2007 [16] y 1038/2012 [17]. Con todo ello lo que se quiere conseguir es llegar a prevenir, vigilar y reducir los niveles de contaminación acústica que afectan al territorio nacional.

Dicha ley, propone como medida la realización de Mapas Estratégicos de Ruido en aquellas poblaciones con aglomeraciones superiores de 250.000 habitantes, para obtener información sobre los niveles de contaminación acústica, y actualizarlos cada 5 años. Además, se introduce el término de zonas de servidumbre acústica, con la que se quiere compatibilizar las actividades de las regiones bajo estudio con los usos y que servirá para delimitar los niveles máximos permitidos, y se identifican las diferentes fuentes de emisión acústica. No obstante, queda a cargo de la Comunidad Autónoma y Ayuntamientos locales la regulación de los ruidos que no sean cubiertos por la ley nacional.

EL REAL DECRETO 1367/2007 propone los siguientes niveles límite a cumplir, para conseguir llegar al objetivo de mitigación de contaminación acústica europea (ver *Tabla 1*).

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA		ÍNDICES DE RUIDO.		
		<i>Ld</i> (dBA)	<i>Le</i> (dBA)	<i>Ln</i> (dBA)
E	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiere 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 lo reclamen. (5)	* ₆	*	*

Tabla 1: Niveles Objeto de calidad Acústica aplicables al territorio nacional según el REAL DECRETO 1367/2007.

3.2.- *Ámbito Autonómico.*

Respecto al nivel autonómico, actualmente se encuentra vigente la Ley 7/2002 [18] 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. Esta ley viene modificada por la LEY 14/2005 publicada el 23 de Diciembre de 2005 [19], que incluye los REALES DECRETOS 266/2004 [20] y 104/2006 [21].

USO DOMINANTE DEL SUELO.	NIVEL SONORO dB(A)	
	Día	Noche
Sanitario y Docente.	45	35
Residencial.	55	45
Terciario.	65	55
Industrial.	70	60

Tabla 2: Niveles objeto de calidad según ley 7/2002.

Para este trabajo de fin de grado se aplicarán los niveles exigidos en la ley de ámbito autonómico para uso dominante de suelo “*Sanitario y Docente*” y “*Residencial*”. Además, se realizará una comparativa con los niveles exigidos por la normativa de ámbito estatal para los niveles de tipo de área acústica con predominio de “*suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiere una especial protección contra la contaminación acústica*” y “*Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial*”.

⁵ 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.

⁶ 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.

Capítulo 4. Ámbito de Estudio.

La actuación objeto del presente estudio acústico se va a desarrollar en el casco urbano de la ciudad de Gandia (Comunidad Valencia). El término municipal se encuentra situado al suroeste de Valencia (capital autonómica), a una distancia de unos 69 km, quedando su núcleo más elevado a 22 metros de nivel de mar.

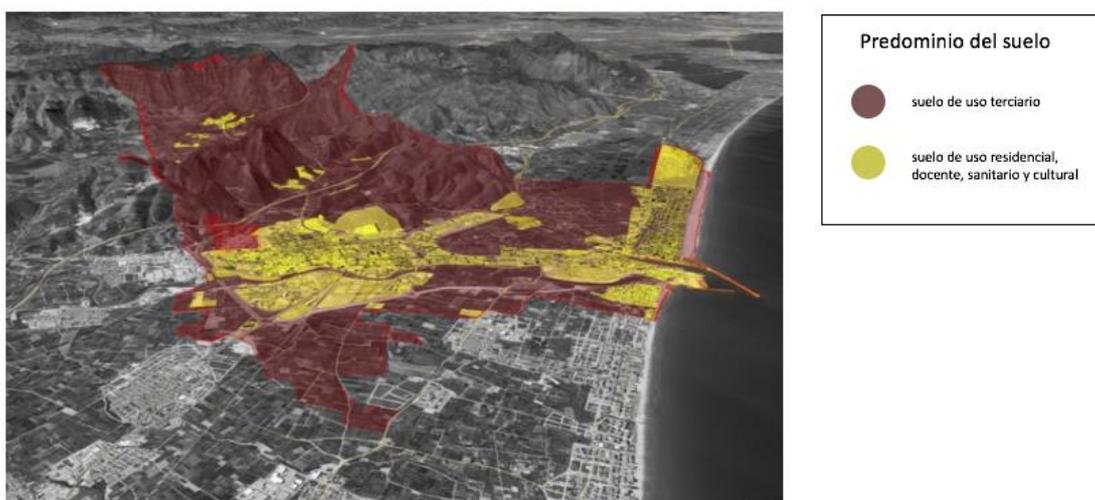


Figura 4: Término de Gandia (donde se encuentra el núcleo de estudio). Fuente: <https://eblancooliva.com/>

Esta ciudad se distribuye en diversos distritos, acumulando un total de 11 distritos, los cuales se distribuyen de la siguiente forma según su ayuntamiento y su nombre en valenciano son:

- Beniopa, Raval, Corea, Benipeixcar, Centro Histórico, Santa Ana, Marxuquera, Rois de Corella y Adyacentes, Playa de Gandia, Plaza elíptica-República Argentina y Grao, Venecia, Rafalcaïd.

Este trabajo de fin de grado se centrará en el estudio de la contaminación acústica en el barrio del Centro Histórico.

4.1.- Gandia.

El emplazamiento objeto del presente documento se halla enclavado en la comarca de La Safor en la provincia de Valencia. El término municipal tiene una superficie de 60,8 km² y cuenta con una población de 73.829 habitantes (INE 2018) limitando con las poblaciones de Xeresa i Xeraco

(por el Norte), Benirredrà, Real de Gandia i Marxuquera (por el Oeste) i Daimús, Miramar i Bellreguard (por el Sur).

Respecto al Centro Histórico (CH) y el Raval de Gandia, objeto referente de este documento, se encuentra en el centro del núcleo urbano de la ciudad, colindante con los barrios de Beniopa, Benipeixcar, Rois de Corella y Plaza Elíptica-República Argentina. La actuación efectuada se corresponde a la actualización de los mapas de ruido de los emplazamientos citados.

4.2- División por zonas.

El centro histórico (CH) de la ciudad bajo estudio (ver Figura 5) se dividirá en 4 zonas (ver Figura 6), para poder realizar de una forma más sencilla y dinámica los cálculos de los habitantes que se encontraban afectados por la contaminación ambiental por ruido, dado que son barrios que comparten las mismas características sonoras. Este proyecto constará de 25 puntos de medición situados en las diferentes aéreas bajo estudio.

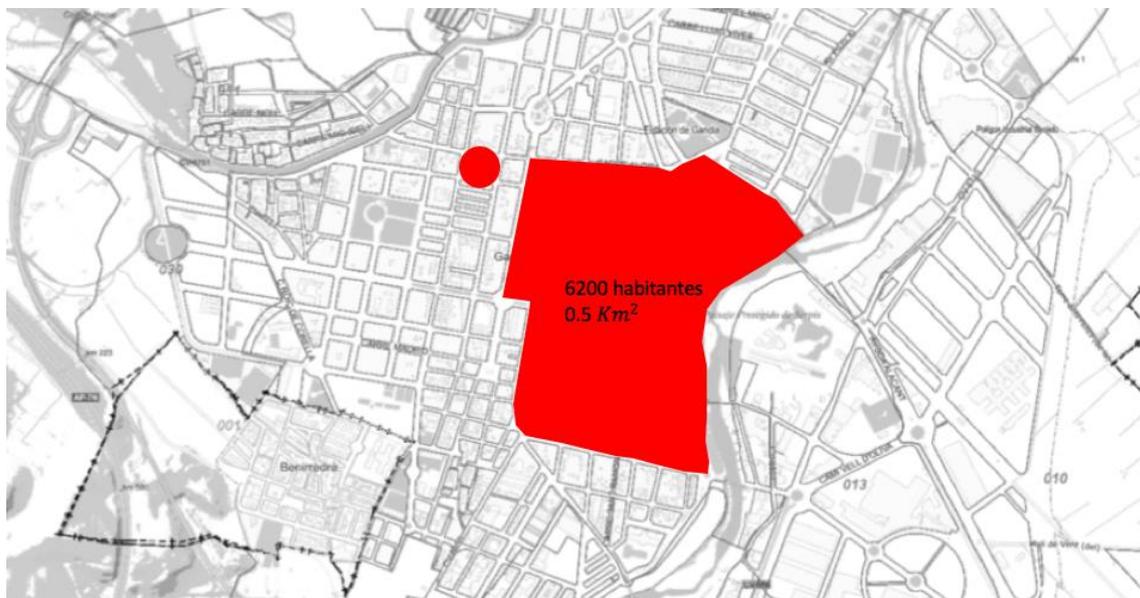


Figura 5: Área sometida a estudio.

Las 4 zonas diferenciadas en este estudio, son las siguientes:

- **La Vila:** se trata de un barrio de origen medieval, el cual contiene el primer recinto amurallado del que se tiene constancia desde el siglo XIII y que contiene una superficie de 129.870 m² y en la que habitan una media de 1.718 habitantes.
- **La Vila Nova:** en él se encuentra el barrio renacentista de la ciudad, el cual se formó el segundo recinto amurallado del que se tiene constancia en el siglo X. Cuenta con una extensión de 92.795 m² y un total de 1.228 habitantes.
- **El Raval:** este barrio constituye la tercera zona de estudio y se trata del barrio medieval de los extramuros. Este barrio es coetáneo a La Vila y se compone de la Morería y la Judería, contando con una superficie de 106.559 m² y cuenta con un total de 1.410 habitantes.
- **L'Eixample:** más conocido como la zona Prado. Se trata del ensanche urbano de finales del siglo XIX, el cual cuenta con una superficie de 144.600 m² y un total de 1.913 habitantes.

Los datos de zonificación del área bajo estudio se pueden encontrar en el Anexo 1. Tipos de suelo según ordenanza municipal.

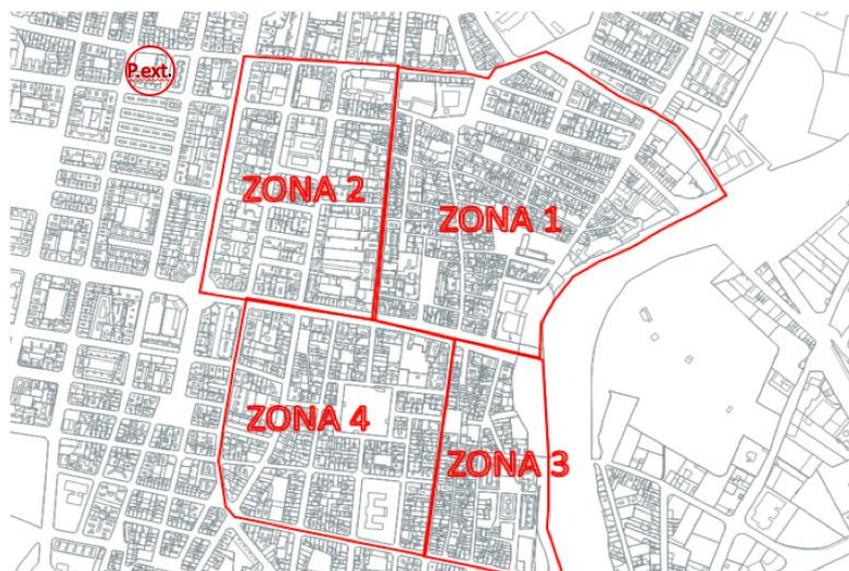


Figura 6: Zonificación del Centro Histórico de Gandia.

El área del CH de la ciudad posee un conjunto de superficies donde se concentra la actividad comercial y de ocio de la ciudad, coincidiendo con las principales vías de comunicación; constituyendo la extensión principal de los servicios de la Ciudad, conllevando todo ello a la convivencia con las zonas de uso residencial.

Toda la extensión del CH se encuentra peatonalizado, con lo que se ha conseguido tener en la ciudad un urbano peatonal accesible. En el caso de las calles que coexisten con el tráfico rodado, se diferencia la superficie de tráfico rodado, materializada con adoquines de hormigón, y la banda de tráfico de los viandantes, materializada con piedra natural. Del mismo modo, las calzadas de uso no peatonal están construidas de asfalto.

Las calles, tienen como característica principal sus dimensiones ajustadas, típicas de la trama histórica donde no se tuvo en cuenta el paso de los vehículos motorizados y, además, el inexistente espacio para el estacionamiento de estos.

Se debe realizar una pequeña distinción a los barrios del ensanche, con vías algo más anchas, construidas en su época, teniendo en cuenta el flujo de vehículos y su estacionamiento. Pero esto supone, a nivel general, junto con la construcción de edificios más altos; la reducción del espacio para los viandantes.

Por último, nombrar que los ejes principales de la región bajo estudio son:

- La Av. Alicante, que cruza por la zona Norte, en sentido único y dirección salida suroeste.
- La C/ San Rafael, que pasa por el oeste, de sentido único con dirección al norte de la ciudad.
- La C/ Carmelita Rita y Duc Alfons el Vell; de único sentido y en dirección sur.
- La Av. del Raval, por el Sur de la ciudad, de sentido único y dirección oeste.

El siguiente paso en este capítulo tratará de estudiar las regiones que componen el CH de la ciudad.

4.2.1.- Zona 1: La Vila.

La zona de La Vila se trata del área más antigua de la ciudad, la gran mayoría de su dimensión se encuentra peatonalizada y su vida se transcurre alrededor de la Plaza del Ayuntamiento y la Calle Mayor, donde se desarrollan las principales actividades comerciales y de servicio hostelero. Esta área peatonal, se encuentra delimitada por la Avenida de Alicante al norte, el primer tramo del Paseo Germanías al sur y el propio río al este. En la siguiente figura (ver *Figura 7*), se muestran en azul la Av. De Alicante, en verde el Paseo Germanías y en rojo la Plza. del Ayuntamiento.

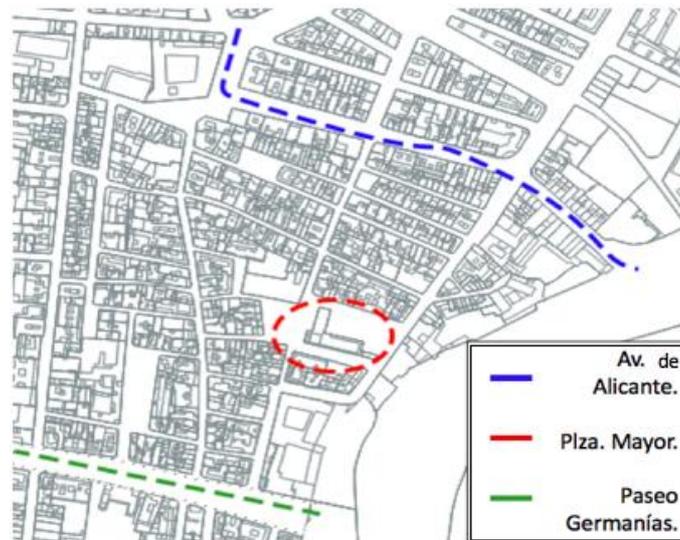


Figura 7: Principales afluencias de la Zona 1.

La estructura de sus vías se dimensiona de la siguiente forma: Las vías de esta sección se encuentran dispuestas entre las tres plazas principales, la Plaza de La Vila, la Plaza del Ayuntamiento y la Plaza de las Escuelas Pías. Sus vías son en la mayoría de los casos de un ancho reducido sirviendo de nexo entre las tres plazas. En su gran totalidad han sido peatonalizadas; indicar que tienen permitido el paso de tráfico rodado de grandes dimensiones (camiones) para dar servicio a los diferentes locales, y se deja un sector al norte-sur con vías de uso mixto y de un único sentido al tráfico. Por otra parte, las principales vías de acceso a este sector, son las siguientes:

- La Plza. de las Escuelas Pías al norte, a la cual se facilita el acceso peatonal desde la C/ Marques de campo y sirve como nexo de otros recorridos no peatonalizados como la Av. de Valencia y el Parque de la Estación.
- La C/ Mayor por el sur junto a la C/ Duc Alfons el Vell; la primera de ellas de acceso peatonal y solo se admite el tráfico rodado de los vehículos de los vecinos que tienen que aparcar el coche en sus correspondientes garajes, y la segunda de ellas el acceso es mixto y en la cual se dispone de una acera de 4 metros de anchura. Estas vías dan acceso al Paseo Germanías; espina dorsal que conecta las cuatro zonas.

Si hablamos de la peatonalización de las calles, la gran mayoría de los tramos se encuentran peatonalizados a excepción del siguiente listado (en la *Figura 8* se puede visualizar el callejero de la Zona 1):

- Calle Carmelita Rita.
- Plaza de La Vila.
- Calle de Los Arcos.

Por otro lado, las calles de uso mixto, son las siguientes:

- Calle Duc Alfons el Vell.
- Calle Sant Pascual.

Capítulo 5. Instrumentación y Método de Estudio.

5.1. Instrumentación utilizada.

La instrumentación utilizada en este estudio ha sido la siguiente:

- Sonómetro Integrador Clase 1, de la marca Brüel&Kjaer modelo 2250 light [22].
- Micrófono pre-polarizado $\frac{1}{2}$ " de la marca Brüel&Kjaer modelo 4950.
- Pantalla anti-viento Brüel&Kjaer.
- Calibrador de clase 1 de 94 dB a 1kHz Brüel&Kjaer modelo 4231.
- Anemómetro Testo 410-2.
- Trípode.
- Contador Tally.

En el *Anexo 7. Instrumentación utilizada*, se puede encontrar una tabla con toda la información acerca del material utilizado de forma más detallada.

5.2. Metodología empleada.

5.2.1. Duración y fecha de las muestras experimentales.

Una vez habiendo sido seleccionados los 25 puntos de medidas de los que constará esta campaña, se procede a realizar las medidas *in situ*, y para ello se realizaron tres mediciones de diez minutos en cada una de las franjas horarias según se indica en la Ley 7/2002, tal y como se estudió con anterioridad. Con todo ello, se decidieron 3 mediciones por puntos (en esta campaña, y teniendo en cuenta los requisitos de la Universidad, solo se tomaron mediciones diurnas, debido a que el sonómetro sólo fue cedido en horario diurno, por los peligros que podría conllevar las mediciones nocturnas; las mediciones del periodo nocturno se obtuvieron bajo el método de la simulación), en días laborales entre semana, resultando un total de 75 mediciones.

La campaña tuvo una duración de 10 días (del Martes 5 de Junio al Jueves 7 de Junio y del Lunes 25 de Junio al Viernes 29 de Junio), las mediciones se tomaron en periodos diferidos de tiempo en el periodo diurno para conseguir que las medidas fuesen lo más representativas posibles.

5.2.2. Distribución espacial de los puntos de medida.

Esta campaña de estudio de contaminación ambiental por ruido ha constado de un total de 24 puntos de medición repartidos entre las 4 zonas y un punto extra en la calle 9 de octubre colindante con el Centro de Salud del Barrio de Beniopa (P25). Éste último punto se eligió debido a su proximidad con el terreno bajo estudio, dado que comparte avenida con otros puntos en las zonas de estudio y por su localización en suelo sanitario (restricción especial en cuanto a niveles sonoros). Así pues, los puntos seleccionados han sido los siguientes:

PUNTO	CALLE	PUNTO	CALLE
P1	Plaza Mayor	P14	Calle San Rafael, 8
P2	Calle Duque Alfonso el Viejo, 1	P15	Calle Rausell, 11
P3	Calle de Las Carmelitas, 6	P16	Plaza Prado
P4	Av. De Alicante, 50	P17	Calle San Vicente Ferrer, 20
P5	Calle San Pascual	P18	Plaza del Molino
P6	Plaza Escuelas Pías	P19	Calle Vora Riu, 1
P7	Calle Mayor, 54	P20	Calle Pellers, 20
P8	Paseo Germanias, 10	P21	Av. Raval, 1
P9	Paseo Germanias, 40	P22	Av. Raval, 2
P10	Calle San Francisco de Borja, 73	P23	Av. Raval, 3
P11	Calle San Francisco de Borja, 35	P24	Calle 9 de Octubre, 6
P12	Calle San Francisco de Borja, 3	P25	Calle 9 de Octubre, 42
P13	Calle San Rafael, 27		

Tabla 4: Puntos de medición.

Los puntos anteriores se encuentran repartidos en el mapa del siguiente modo (ver Figura 11):

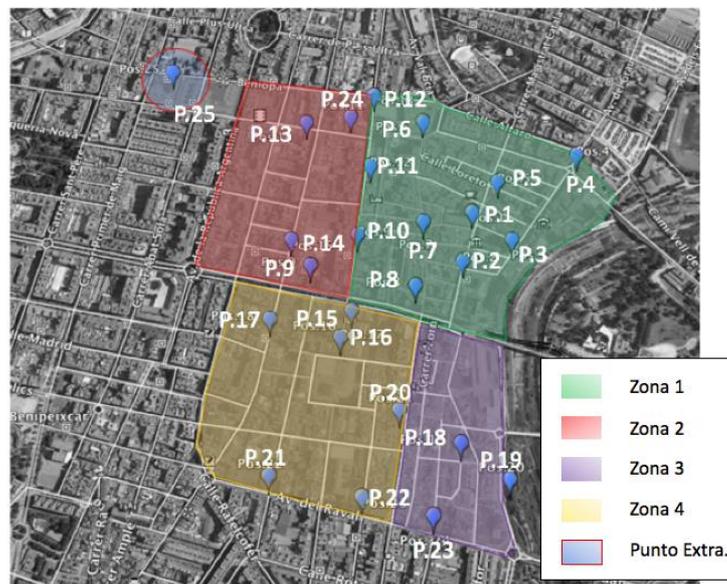


Figura 11: Puntos de medición.

5.2.3. Obtención de muestras experimentales.

La metodología que se aplicó fue siguiendo la Ley 7/2002 [18] junto con la Norma ISO 1996/2 [23]. Por tanto, se tuvieron en cuenta las siguientes especificaciones:

- Fue necesario el uso de pantalla anti-viento, debido a que las mediciones fueron realizadas en el exterior.
- Se registraron las condiciones meteorológicas en cada una de las mediciones y si alguna de ellas se consideró adversa para el estudio, se desestimó la medida o se paró la jornada.

- Las medidas se realizaron con el micrófono del sonómetro a más de 1,5 m del suelo, superpuesto en un trípode y como mínimo distanciado 2 metros de la fachada.
- Se contabilizó el caudal de tráfico rodado y se diferenció entre vehículos ligeros y pesados, además de tener en cuenta su velocidad aproximada, en cada una de las mediciones.
- Si durante alguna de las mediciones fue detectado algún fenómeno esporádico que tuviese la posibilidad de influir en el resultado representativo de la medida, automáticamente, dicha medición se descartó del estudio.

Una vez fueron tomadas las medidas de la campaña, se procedió a utilizar el software que proporciona la empresa Brüel&Kjaer para poder procesar los datos, pasarlos al ordenador y poderlos procesar en Excel con el software “BZ5503-Measurement Partner Suit”.

Las mediciones “*in situ*” se tomaron según establece la Ley 7/2002 [18] y la Norma ISO 1996/2 [23]. Para ello, se configuró con anterioridad el sonómetro Brüel&Kjaer modelo 2250 light [22] de la siguiente forma:

- Se seleccionó el modo de funcionamiento del sonómetro.
- El tiempo de medida se fijó en 10 minutos. Se establece este margen de tiempo debido al compromiso que ofrece entre las medidas de tráfico con densidad media-alta (5 minutos) y las medidas de tráfico de baja densidad (15 minutos).
- Se configuró la banda frecuencial en el formato AC y C para los picos.
- Se activó la opción de corrección por pantalla anti-viento con un modo de respuesta *Fast*.
- Se activó la opción de obtener los percentiles, debido a que eran necesarios para poder realizar el cálculo de las incertidumbres posteriormente.

Dentro de la recolección de las medidas que se obtuvieron, los valores de los parámetros acústicos con más relevancia en este estudio fueron:

- El nivel de presión sonora equivalente (L_{Aeq}).
- El percentil (L_{95}).

5.2.4. Método de simulación.

Uno de los objetivos del estudio es el de conseguir un modelo que represente fielmente y con la mayor exactitud posible la influencia acústica de las principales áreas en el CH de Gandia, el cual se validará posteriormente con las muestras que fueron recogidas durante la campaña de medidas experimentales. Una vez el modelo se encuentre validado, podrá ser considerado como un modelo de representación de la situación en la que se encuentra la superficie estudiada en términos de contaminación acústica. De esta forma se podrán obtener conclusiones y medidas mitigadoras si fuesen necesarias. Una vez obtenidos los resultados experimentales *in situ*, teniendo en cuenta la localización del punto de medida y el periodo de medición, se obtendrán los MR bajo el método de simulación con el software que proporciona la Universidad, y es entonces que se procederá a realizar los MER. Los MR indican la distribución de la contaminación sonora en la superficie del territorio, tal y como ya se mencionó, pero en ellos no se expone la cantidad total de habitantes que se encuentran afectados por dicho ruido. Es aquí por lo que tienen su importancia los MER, dado que además evalúan globalmente la exposición al ruido en una zona determinada. Para ello, se tendrán que realizar una serie de pasos:

- Exportar el mapa al software Predictor.
- Marcar los puntos de medición en el mapa obtenido.
- Completar cada punto con las características del entorno. Es decir, velocidad del tráfico rodado en las calles visibles, características del suelo (duro o blando), número de vehículos que circulan por las vías, etc.
- Se marcarán las zonas verdes que aparezcan en nuestra zona bajo estudio y se remarcarán las zonas de asfalto u hormigón. Para ello se procederá del siguiente modo:

- Las zonas de tipo urbano se considerarán como superficies acústicamente reflectantes, para poder considerarlas en la simulación. Para ello se le asignará un factor de suelo $G = 0$.
- Las zonas con vegetación, se considerarán zonas acústicamente absorbentes, por lo que se le asignará un factor de suelo $G = 1$.

Capítulo 6. Resultados.

En este capítulo de resultados, se presentan los niveles de las diferentes mediciones y se procede a validar el método de simulación, el cual servirá para obtener los Mapas de Ruido (ver Capítulo 8).

El procedimiento seguido en la obtención de datos experimentales durante la campaña de medidas siguió los siguientes pasos:

- 1) Obtención de la cartografía de la ciudad de Gandia, desde la página del catastro de la ciudad y posteriormente la transposición de los mapas generados por el catastro, a AutoCAD. De este se tuvo que realizar una clasificación de los edificios por alturas, divididos por capas, y efectuar los mapas a mano con el software. Una vez conseguida la cartografía de espacio bajo estudio, se exportaron al programa proporcionado por la universidad por capas, correspondientes a las alturas de los edificios para facilitar el manejo del siguiente software.
- 2) Determinación de los puntos de medición.
- 3) Modelización con el software de predicción proporcionado por la Escuela Politécnica Superior de Gandia, Predictor v7.10 de *Briuel&Kajer* [24].
- 4) Medidas de campo, con las que se validarán en modelo simulado.
- 5) Se analizaron los resultados de los parámetros acústicos obtenidos en la acústica ambiental y se procedió a realizar el cálculo de sus incertidumbres.

6.1. Caudales de tráfico medidos.

Para poder procesar el caudal de tráfico, se gestionó tal y como se describe en la Norma ISO 1996/2, donde se menciona que se debe contar el número de vehículos que circulan en la vía durante el tiempo de medición, distinguiendo entre vehículos ligeros (vehículos de peso inferior a 3500 kg: automóviles, motocicletas, ...) y vehículos pesados (vehículos con peso superior a 3500 kg: camiones, autobuses, ...), además de registrar la velocidad con la que circulan por la vía.

A continuación, se muestra una tabla con la cantidad de vehículos que se obtuvieron durante las jornadas de medición:

PUNTO	CALLE	$Q_{l,d}$ 10'	$Q_{p,d}$ 10'	$Q_{l,d}$ 1H	$Q_{p,d}$ 1H	$Q_{l,n}$ 1H* ⁷	$Q_{p,n}$ 1H*
P1	Plza. Mayor	14	0	84	0	16	0
P2	C/ Duque Alfonso el Viejo, 1	35	2	210	12	42	2
P3	C/ de Las Carmelitas, 6	49	2	294	12	58	2

⁷ Los cálculos para el nivel de noche no fueron medidos por motivos de seguridad, así que los resultados se obtuvieron mediante el método de la simulación.

P4	Av. De Alicante, 50	138	6	828	36	165	7
P5	C/ San Pascual	6	0	36	0	7	0
P6	Plza. Escuelas Pías	1	0	6	0	1	0
P7	C/ Mayor, 54	2	0	12	0	2	0
P8	Paseo Germanias, 10	79	1	470	6	94	1
P9	Paseo Germanias, 40	64	3	384	36	76	3
P10	C/ San Francisco de Borja, 73	3	0	18	0	3	0
P11	C/ San Francisco de Borja, 35	6	2	36	12	7	2
P12	C/ San Francisco de Borja, 3	4	1	24	6	4	1
P13	C/ San Rafael, 27	68	4	408	24	81	4
P14	C/ San Rafael, 8	91	4	546	24	109	4
P15	C/ Rausell, 11	3	0	18	0	3	0
P16	Plza. Prado	2	0	12	0	2	0
P17	C/ San Vicente Ferrer, 20	51	4	306	24	61,2	4
P18	Plza. del Molino	10	0	60	0	12	0
P19	C/ Vora Riu, 1	3	0	18	0	3	0
P20	C/ Pellers, 20	33	1	198	6	39	1
P21	Av. Raval, 1	71	2	426	12	85.2	2
P22	Av. Raval, 2	93	4	558	24	111	4
P23	Av. Raval, 3	85	3	510	18	102	3
P24	C/ 9 d'Octubre, 6	6	0	36	0	7	0
P25	C/ 9 d'Octubre, 42	13	1	78	6	15	1

Tabla 5: Caudal de tráfico rodado.

Para la C/ San Rafael (P13 y P14), la C/ San Vicente Ferrer (P17) la C/ 9 de Octubre (P25), la Av./ de Alicante (P4) y la Av./ del Raval (P21, P22 y P23) se tuvo en cuenta una velocidad de 50 km/h en horario diurno y nocturno, mientras que para el resto de puntos se mantuvo una velocidad de 30 km/h en horario diurno y nocturno.

6.2. Niveles de ruido experimentales.

A continuación, se muestra la tabla (ver Tabla 6) con el nivel de presión sonora en ponderación A que se obtuvo durante la campaña:

Punto	Localización	LAeq (Dia)	Punto	Localización	LAeq (Dia)
P1	Plaza Mayor	62,9	P13	Calle San Rafael, 27	70,3
P2	Calle Duque Alfonso el Viejo, 1	68,0	P14	Calle San Rafael, 8	70,7
P3	Calle de Las Carmelitas, 6	64,7	P15	Calle Rausell, 11	61,9
P4	Av. De Alicante, 50	70,2	P16	Plaza Prado	61,0
P5	Calle San Pascual	59,1	P17	Calle San Vicente Ferrer, 20	68,7
P6	Plaza Escuelas Pías	60,2	P18	Plaza del Molino	53,9
P7	Calle Mayor, 54	64,6	P19	Calle Vora Riu, 1	53,2
P8	Paseo Germanias, 10	68,2	P20	Calle Pellers, 20	67,6
P9	Paseo Germanias, 40	68,5	P21	Av. Raval, 1	69,0
P10	Calle San Francisco de Borja, 73	61,3	P22	Av. Raval, 2	69,1
P11	Calle San Francisco de Borja, 35	63,5	P23	Av. Raval, 3	72,3

<i>P12</i>	Calle San Francisco de Borja, 3	62,1	<i>P24</i>	Calle 9 de Octubre, 6	68,6
			<i>P25</i>	Calle 9 de Octubre, 42	62,9

Tabla 6: Nivel L_{Aeq} medido por punto.

En el Anexo 2: “Hojas de campo”, se puede visualizar una ficha por cada uno de los puntos de la localización con toda su información.

6.3. Validación de la simulación.

Una vez se han obtenido los datos experimentales, la idea es realizar una simulación en todo el territorio basándose en éstas, para ello se realizará una simulación previa con el software Predictor v7.10 y se obtendrá el MR para cada periodo del día. La forma de validar dicha simulación es comparando los resultados simulados con los obtenidos experimentalmente en los mismos puntos de medición. Por ello, se realiza una simulación con un mallado a 1,5 m de altura, y las medidas obtenidas en la simulación no deberán diferenciarse de las experimentales en ± 3 dBA (se pueden ver los resultados obtenidos en la hoja de Anexo 3. Mapas MER. Por tanto, esta simulación fue analizada, estudiada y ajustada a modo de poder justificar las veracidades de los valores obtenidos en la simulación, una vez se valide el método se obtendrá la simulación para una altura de 4 m, con este procedimiento se conseguirá que los resultados mostrados en el MR cumplan la norma ISO 1996 [25]. A continuación, se expone la comparativa entre datos experimentales y simulados (ver Tabla 7):

<i>P</i>	L_d [dBA]	Mediciones Simuladas	Diferencia	< 3dB	<i>P</i>	L_d [dBA]	Mediciones Simuladas	Diferencia	< 3dB
<i>P1</i>	62,9	60,3	2,6	ok	<i>P14</i>	70,7	70,6	0,1	ok
<i>P2</i>	68,0	70,5	2,5	ok	<i>P15</i>	61,9	63,4	1,5	ok
<i>P3</i>	64,7	67,1	2,4	ok	<i>P16</i>	61,0	61,8	0,8	ok
<i>P4</i>	70,2	73,1	2,9	ok	<i>P17</i>	68,7	69,8	1,1	ok
<i>P5</i>	59,1	61,6	2,5	ok	<i>P18</i>	53,9	52,1	1,8	ok
<i>P6</i>	60,3	58,3	2,0	ok	<i>P19</i>	53,2	52,9	0,3	ok
<i>P7</i>	64,6	64,1	0,5	ok	<i>P20</i>	67,6	69,5	1,9	ok
<i>P8</i>	68,3	69,2	0,9	ok	<i>P21</i>	69,0	71,5	2,5	ok
<i>P9</i>	68,6	68,6	0,0	ok	<i>P22</i>	69,2	71,2	2,0	ok
<i>P10</i>	61,3	63,9	2,6	ok	<i>P23</i>	72,3	71,4	0,9	ok
<i>P11</i>	63,5	63	0,5	ok	<i>P24</i>	68,6	66,9	1,7	ok
<i>P12</i>	62,1	63,1	1,0	ok	<i>P25</i>	62,9	63,7	0,8	ok
<i>P13</i>	70,3	71,7	1,4	ok					

Tabla 7: Diferencia mediciones "in situ" vs. Simulación micrófonos a 1,5 m.

Para estudiar la comparación de modo más visual se presenta una gráfica con los datos anteriores:

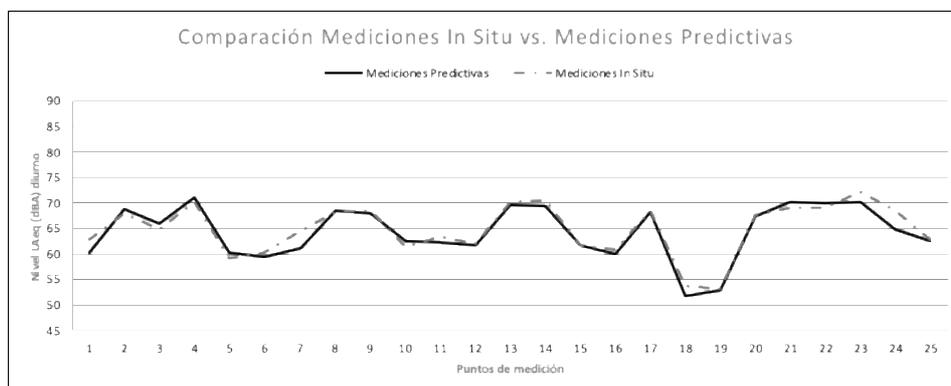


Figura 12: Diferencia mediciones "in situ" vs. Simulación.

Una vez cumplida la comparativa ente datos experimentales y simulados, se procede a validar el método de simulación, por lo que se realiza un ajuste lineal entre ellos, si el factor de correlación r es cercano a la unidad, se estará validando el modelo.

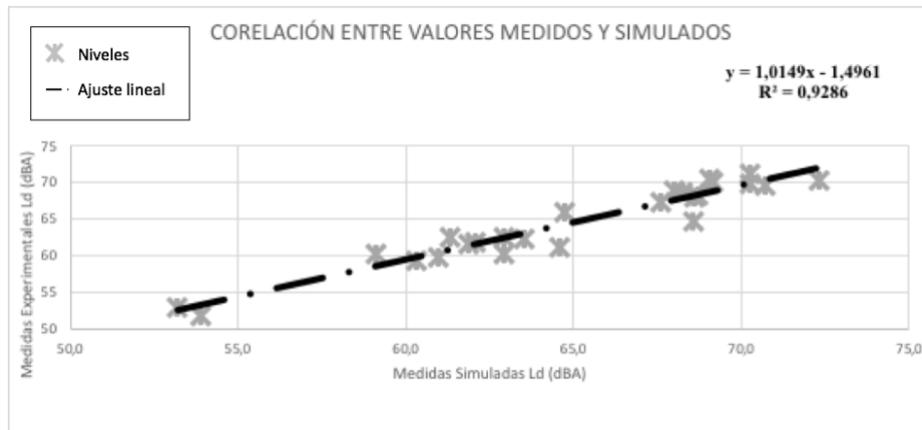


Figura 13: Correlación entre medidas Experimentales ("in situ") y medidas Simuladas (software).

Si se observa la anterior gráfica (ver Figura 13), se llega a la conclusión de que la dependencia entre los valores obtenidos en campaña y los simulados es directa ($r = 0,9636$), por tanto, se valida la simulación y, por ende, se procederá a crear los MR.

6.4. Cálculo de las Incertidumbres en las medidas experimentales.

En este apartado se pretende evaluar la exactitud de las medidas tomadas experimentalmente. Por ello se procederá a analizar las incertidumbres de las mediciones mediante ciertos cálculos (a continuación desarrollados), debido a que ninguna medición resulta exacta, es decir, el resultado de la medida no coincide exactamente con el valor real de la magnitud (todo equipo de medición, y más en campo abierto, y no en laboratorio, tiende a desviar su medida obtenida del dato real). Es importante cuantificar dichas incertidumbres para valorar la confianza que depositamos en cada medida.

Para este estudio y según la Norma ISO 1996-2 [22] se sigue la Guía para la Expresión de Incertidumbre de Medida (GUM) [26], en la cual se establecen las normas generales para la evaluación y expresión mediante modelos matemáticos. Ésta contempla todas las magnitudes que pueden contribuir 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.
- El sonido residual.

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

Para este estudio, se tendrá en cuenta las incertidumbres debidas al sonómetro (W), a las condiciones de operación (X), a las condiciones climáticas y del suelo (Y) y a la del sonido residual (Z) [27]. En la siguiente tabla (Tabla 9) se muestra a modo resumen, las incertidumbres presentes en el estudio:

Incertidumbre Típica				Incertidumbre Típica Combinada. $\sigma_t = \sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$ (dB)	Incertidumbre de Medida Expandida. $\pm 2\sigma_t$
Debida a la Instrumentación. W (dB)	Debido a las Condiciones de Operación. X (dB)	Debida a las Condiciones Meteorológicas y del Suelo. Y (dB)	Debido al Sonido Residual. Z (dB)		

Tabla 8: Descripción de Incertidumbres.

Para proceder al cálculo de la incertidumbre combinada, se aplicará la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \sqrt{(1 \cdot W)^2 + (1 \cdot X)^2 + (1 \cdot Y)^2 + (C \cdot Z)^2} \quad (3)$$

En la Ecuación 3 todos los coeficientes poseen la misma sensibilidad (uno), excepto C que corresponde al nivel de ruido residual; y para el cual, en este caso se toma el valor del percentil L_{95} .

6.4.1. Incertidumbre típica debida a la instrumentación.

El cálculo de la incertidumbre típica debida a la instrumentación (W) representa la influencia que ejercen los distintos operadores y equipos en el mismo lugar de trabajo, sometidos a condiciones constantes.

Para su cálculo, se utilizará la siguiente ecuación:

$$W(\text{dB}) = \delta_{PFE} + \delta_{PFA} + \delta_{LS} + \delta_{RMS} + \delta_{PT} + \delta_{CA} + \delta_{CC} + \delta_{ES} + \delta_{TS} + \delta_{PS} + \delta_{CS} + \delta_{PA} + \delta_{OB} \quad (8)$$

Todas las variables en el cálculo se pueden dividir en dos grupos:

- Las incertidumbres relacionadas con la operativa del sonómetro. Se obtiene desde los valores de verificación acústica y eléctrica y la cual abarca las incertidumbres desde δ_{PFE} hasta δ_{ES} .
- Las incertidumbres asociadas al uso del sonómetro, estas son desde δ_{TS} hasta δ_{OB} .

Se pasa a analizar cada una de las incertidumbres.

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

$$u_{(\delta_{PFE})} = \frac{U_E}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB}. \quad (9)$$

Donde U_E representa la incertidumbre expandida certificada y $K_n = 2$ 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.

$$u_{(\delta_{PFA})} = \frac{U_A}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB}. \quad (10)$$

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

$$u_{(\delta_{LS})} = \sigma_L = 0.011 \text{ dB}. \quad (11)$$

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

$$u_{(\delta_{RMS})} = \sigma_R = 0.055 \text{ dB.} \quad (12)$$

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

$$u_{(\delta_{PT})} \text{fast o slow} = \frac{\Delta_{PT}}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ dB.} \quad (13)$$

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

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

$$u_{(\delta_{CA})} = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ dB.} \quad (14)$$

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

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

$$u_{(\delta_{CC})} = \frac{U_C}{K_n} = \frac{\pm 0.11}{2} = \pm 0.055 \text{ dB.} \quad (15)$$

Donde U_C representa la incertidumbre expandida de uso del calibrador.

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

$$u_{(\delta_{ES})} = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.003 \text{ dB.} \quad (16)$$

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

$$u_{(\delta_{TS})} = \frac{\alpha_M \cdot \Delta_T}{\sqrt{3}} = \frac{0.015(23^\circ\text{C} - T_M)}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

Donde α_M corresponde al coeficiente de variación con la temperatura y T_M con la temperatura en grados Celsius en el momento de la medida.

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

$$u_{(\delta_{PS})} = \frac{\gamma_M \cdot \Delta_p}{\sqrt{3}} = \frac{0.019(1013\text{Pa} - P_M)}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

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

- δ_{CS} : Representa la corrección asociada con la influencia de la carcasa del sonómetro. Modela el efecto de la perturbación del campo debido a la presencia del sonómetro en función de la frecuencia.

$$u_{(\delta_{CS})} = \frac{\Delta_{CS}}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ dB.} \quad (19)$$

Donde Δ_{CS} representa una desviación sobre cero máxima ponderada con la frecuencia.

- δ_{PA} : Representa la corrección asociada con la influencia de la pantalla anti-viento. Este caso se da, debido a que algunos sonómetros llevan incorporado un filtro corrector para minimizar los efectos. Este caso resulta parecido al anterior.

$$u_{(\delta_{PA})} = \frac{\Delta_{PA}}{\sqrt{3}} = 0.017 \text{ dB.} \quad (20)$$

Donde Δ_{PA} representa la desviación máxima ponderada con la frecuencia suponiendo una distribución uniforme.

- δ_{OB} : Representa la corrección asociada a la influencia del observador en función del tamaño y la posición respecto al sonómetro. Depende de la frecuencia.

$$u_{(\delta_{OB})} = \frac{\Delta_{OB}}{\sqrt{3}} = 0.015 \text{ dB.} \quad (21)$$

Donde Δ_{OB} representa la medida de las ventanas. Para la evaluación de la incertidumbre, se seleccionan ventanas en el rango de la frecuencia y se determina la máxima desviación desde cero dentro en ellas.

Para este proyecto, las mediciones en campaña, solo se realizaron en periodo diurno. Por lo que las incertidumbres típicas debidas a la instrumentación se asumirán iguales para los dos periodos. Se obtiene un valor de 0.3 dB causado por la incertidumbre debido a la instrumentación. (En el *Anexo 6. Cálculo de las incertidumbres*, se puede visualizar una tabla (*ver Tabla 1*) con los valores de la incertidumbre debida a la instrumentación)

6.4.2. Incertidumbre típica debida a las condiciones de funcionamiento.

Cuando se mide vías con tránsito rodado, se realiza una media de la variación del ruido de cada uno de los vehículos, por lo que a cuanto más velocidad cruce la vía dicho vehículo, mayor será la medida, y menor la incertidumbre de esta medida. La incertidumbre típica debida a las condiciones de funcionamiento se puede aproximar bajo la siguiente expresión.

$$X_{(dB)} = \frac{10}{\sqrt{n}} \quad (22)$$

Siendo n el número total de vehículos (ligeros y pesados) que circulan por las vías afines al punto de medición durante en una hora.

En el *Anexo 6. Cálculo de las incertidumbres* se presenta detalladamente los valores calculados para la incertidumbre típica a las condiciones de funcionamiento.

6.4.3. Incertidumbre debida al clima y al suelo.

El cálculo de incertidumbre debida al clima y al suelo (Y), depende de la duración de medición y las condiciones meteorológicas en el momento. En este trabajo se realizaron medidas de poca duración (10 min), por lo que las variaciones por condiciones de suelo son pequeñas, por ello se puede tomar el valor de 0.5 dB.

6.4.4. Incertidumbre típica debida al Sonido Residual.

Para la estimación de la incertidumbre típica debida al sonido residual (Z), tal y como se citó anteriormente en la *ecuación 4*, se utilizará el nivel de percentil 95 (L_{95}). Esta elección fue tomada debido a la falta de medición del nivel de ruido de fondo durante la campaña *in situ*, el cual se estimará calculando la diferencia entre el nivel de presión sonora residual ($L_{residual}$), tomando el valor del nivel de percentil 95, y el nivel de presión sonora medio (L_{medio}). Para dicho proceso se tendrán en cuenta las siguientes pautas:

- Si $L_{residual}$ presenta una diferencia de 10 dBA o más de L_{medio} , no se realizarán correcciones.
- Si entre $L_{residual}$ y L_{medio} existe una diferencia de 3 dBA o inferior, no se realizará ninguna corrección.
- Si la diferencia entre $L_{residual}$ y L_{medio} se encuentra entre los 3 y 10 dBA, se realizará la siguiente corrección.

Con todo ello, ahora se podrán calcular las correcciones debidas al sonido residual, y para ello, se hará uso de la siguiente ecuación:

$$L_{cor} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{medio}}{10}} - 10^{\frac{L_{residual}}{10}} \right) \quad (23)$$

Los puntos que no necesitaban corrección fueron los siguientes: P1-P2-P3-P4-P13-P-14-P16-P17-P18-P20-P21-P22-P23-P24-P25, para el resto se aplicó la *ecuación 23*. En el *Anexo 6. Cálculo de las incertidumbres*, se puede visualizar en la *tabla 3* los valores de la corrección para usarse en el cálculo de la incertidumbre debida al sonido residual.

Una vez habiendo calculado la corrección por sonido residual, se tendrá que calcular:

- La sensibilidad del nivel sonoro residual (C):

$$C = \frac{10^{L_{residual}}}{10^{\frac{L_{total}}{10}} - 10^{\frac{L_{residual}}{10}}} \quad (24)$$

Donde L_{total} corresponde al nivel de presión sonora medido.

- Además, se deberá calcular la incertidumbre del nivel sonoro residual (Z_r) según la siguiente ecuación:

$$Z_r = \sqrt{\sigma_s^2 - \sigma_0^2} \quad (25)$$

Donde σ_s es la incertidumbre producida por el nivel sonoro corregido y σ_0 es la incertidumbre producida por el nivel sonoro total medido.

Asimismo, se define como el valor de incertidumbre del nivel sonoro residual como la combinación del nivel total y el sonido residual. Por lo que tenemos que la incertidumbre (Z) responde a la siguiente ecuación:

$$Z = C Z_r \quad (26)$$

En la *Tabla 4 del Anexo 6. Cálculo de las incertidumbres*, se pueden visualizar en detalle los valores obtenidos para el cálculo de la incertidumbre ocasionada por ruido residual.

6.4.5. Incertidumbre Combinada y Expandida.

Para el cálculo de la incertidumbre combinada (σ_t), se partirá de los valores de las desviaciones típicas parciales (anteriormente desarrollados) y se tomará la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \sqrt{(1 \cdot W)^2 + (1 \cdot X)^2 + (1 \cdot Y)^2 + (C \cdot Z)^2} \quad (27)$$

Una vez calculada la incertidumbre combinada, se podrá obtener el valor de la incertidumbre expandida (en dB) multiplicándolo por 2:

$$\pm 2\sigma_t \quad (28)$$

En la siguiente tabla se muestra el resultado de los cálculos de todas las incertidumbres explicadas anteriormente punto por punto, para al final obtener la incertidumbre en el nivel tomado para cada medida experimental:

<i>Punto</i>	<i>W (dB)</i>	<i>X (dB)</i>	<i>Y (dB)</i>	<i>Z (dB)</i>	σ_t (dB)	$\pm 2.0\sigma_t$ (dB)	<i>Medida experimental (dBA)</i>
<i>P1</i>	0,3	1,1	0,5	0,1	1,3	2,6	62,9 ±2,6
<i>P2</i>	0,3	0,7	0,5	0,0	0,9	1,8	68 ±1, 8
<i>P3</i>	0,3	0,6	0,5	0,0	0,8	1,7	64,7 ±1, 7
<i>P4</i>	0,3	0,3	0,5	0,0	0,7	1,4	70,2 ±1,4
<i>P5</i>	0,3	1,7	0,5	0,1	1,8	3,6	59,1 ±3, 6
<i>P6</i>	0,3	3,5	0,5	0,3	3,6	7,3	60,3 ±7, 3
<i>P7</i>	0,3	2,9	0,5	0,2	3,0	6,0	64,6 ±6, 0
<i>P8</i>	0,3	0,5	0,5	0,5	1,0	2,1	68,3 ±2, 1
<i>P9</i>	0,3	0,5	0,5	0,3	0,9	1,9	68,6 ±1, 9
<i>P10</i>	0,3	2,4	0,5	0,7	2,6	5,1	61,3 ±5, 1
<i>P11</i>	0,3	1,5	0,5	0,3	1,7	3,4	63,5 ±3, 4
<i>P12</i>	0,3	1,8	0,5	0,2	1,9	3,8	62,1 ±3, 8
<i>P13</i>	0,3	0,5	0,5	0,0	0,8	1,5	70,3 ±1, 5
<i>P14</i>	0,3	0,4	0,5	0,0	0,7	1,5	70,7 ±1, 5
<i>P15</i>	0,3	2,2	0,5	0,0	2,3	4,6	61,9 ±4, 6
<i>P16</i>	0,3	2,9	0,5	0,0	2,9	5,9	61,9 ±5, 9
<i>P17</i>	0,3	0,5	0,5	0,0	0,8	1,6	68,7 ±1, 6
<i>P18</i>	0,3	1,3	0,5	0,0	1,4	2,8	62,9 ±2, 8
<i>P19</i>	0,3	2,4	0,5	0,3	2,5	5,0	53,2 ±5, 0
<i>P20</i>	0,3	0,7	0,5	0,0	0,9	1,8	67,6 ±1, 8
<i>P21</i>	0,3	0,5	0,5	0,0	0,7	1,5	69 ±1, 5
<i>P22</i>	0,3	0,4	0,5	0,0	0,7	1,4	69,2 ±1, 4
<i>P23</i>	0,3	0,4	0,5	0,0	0,7	1,5	72,3 ±1, 5
<i>P24</i>	0,3	1,7	0,5	0,1	1,8	3,6	68,6 ±3, 5
<i>P25</i>	0,3	1,1	0,5	0,2	1,3	2,6	62,9 ±2, 6

Tabla 9: Resultados de incertidumbres.

Se observa en la tabla anterior (ver Tabla 9) que en alguno de los puntos, las incertidumbres llegan a obtener valores muy elevados (incertidumbres mayores a ± 3 dBA. Este fenómeno se ve agravado en los puntos que se encontraban en una calle peatonal.

Es por ello que se concluye, que al medir en puntos donde existe un tráfico nulo (espacios peatonales) no se validan las simulaciones con el software, ya que se debería medir el nivel de ruido con medidas de tiempo prolongado (mínimo de una hora) y simular con fuentes lineales, no cómo vía de tráfico rodado (como se ha hecho en este trabajo). Esto viene a demostrar que las medidas no son suficientemente estables, y por tanto, fiables ni exactas.

Capítulo 7. Mapas Estratégicos de Ruido (MER) del CH

Para realizar los Mapas Estratégico de Ruido, primero se deberá realizar un Mapa de Ruido. Así que, para tratar este punto, se deberá tener en cuenta primordialmente, cual es la diferencia entre ambos. Un Mapa de Ruido (MR) es aquel que proporciona una información geográfica, la cual representa la realidad sonora de una zona determinada mediante indicadores acústicos, como es el Nivel Equivalente de Ruido del que se habló con anterioridad, durante un cierto periodo de tiempo. Un Mapa Estratégico de Ruido (MER), analiza los datos de un MR y los complementa con información (menos directa) como pueden ser un estudio de la población que se encuentra expuesta a dichos niveles, porcentajes de barrios/zonas afectadas y muy afectadas por el ruido, muestra en el mapa el ruido estimado durante todo el año (contempla el periodo invernal y veraniego), etc. Además, estima y muestra la percepción del ruido por su población (estudio subjetivo), los cuales suele obtenerse mediante estimación matemática o realización de encuestas a pie de calle mediante las cuales respuesta a ciertas preguntas, se evalúa si la persona se encuentra molesta, muy molesta, o no percibe molestias. Otra forma, y la cual se lleva a cabo en este estudio, es mediante estimación. En este caso se hacen servir las estimaciones propuestas por el Grupo de Trabajo 2 de Dosis/Efecto (WGA) de la UE. (En los siguientes apartados se estudiarán estas estimaciones de forma más ampliada)

Para ello, la Universidad cuenta con el software *Predictor 7810* de la empresa *Brüel&Kjaer*. Se trata de una herramienta de simulación, indispensable para la creación de los mapas. Crea una malla de puntos equiespaciados para los que calcula un valor de presión sonora teniendo en cuenta las fuentes, y el tipo de ruido que emiten, de su alrededor. Incluye diferentes tipos de cálculo:

- CRTN (Método británico (UK) y Nueva Zelanda para ruido de tráfico).
- DAL 32 (Método nórdico de ruido industrial).
- ISO 9613.12 (Internacional – Método de propagación del ruido en exteriores).
- RMR/SRM2 (Método armonizado europeo para ruido de tráfico y ferroviario).
- XPS-FER (Método francés de ruido ferroviario).
- XPS/NMPB (Método francés de ruido de tráfico).

Para este estudio, se utilizó el **método francés de ruido de tráfico XPS/NMPB** tal y como se indica en la Ley del Ruido 37/2003 y en el Real Decreto 1513/2005. En este capítulo, se presentarán los mapas realizados, según se explicó en el apartado 6.2 del capítulo anterior.

7.1. Mapas de Ruido.

A continuación se exponen los mapas de ruido (MR) del Centro Histórico de la ciudad de Gandia. Los Mapas Estratégicos de Ruido (MER) se describen como “herramientas diseñadas para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, según se define en la Directiva 2002/49/CE del parlamento europeo y del consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental” según El Ministerio de Fomento de España [28]. Según requiere la normativa, estos mapas deben actualizarse cada 5 años, sirven como herramienta de diagnóstico, y bajo un año de referencia se puede desarrollar un seguimiento de la evolución de dicho tipo de contaminación [13].

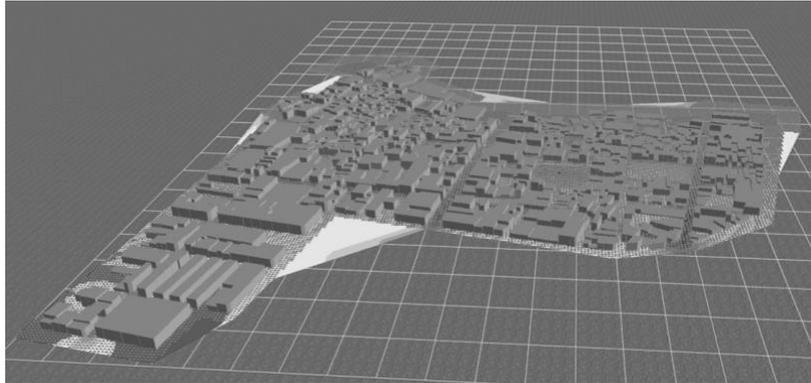


Figura 14: Mapa zona de estudio de la ciudad de Gandia modelado en 3D para su simulación en Predictor.

Así pues, para simular nuestro mapa de ruido en *Predictor*, lo primero fue introducir el modelo 3D del entorno (ver *Figura 14*), después se pudo obtener la simulación de los mapas de ruido, para seguido realizar su ajuste y validación. Una vez se tenía el modelo ajustado, se adquirieron los mapas de ruido en cada periodo diurno para la ciudad de Gandia en su Centro Histórico (ver *Figuras 15, 16 y 17*).

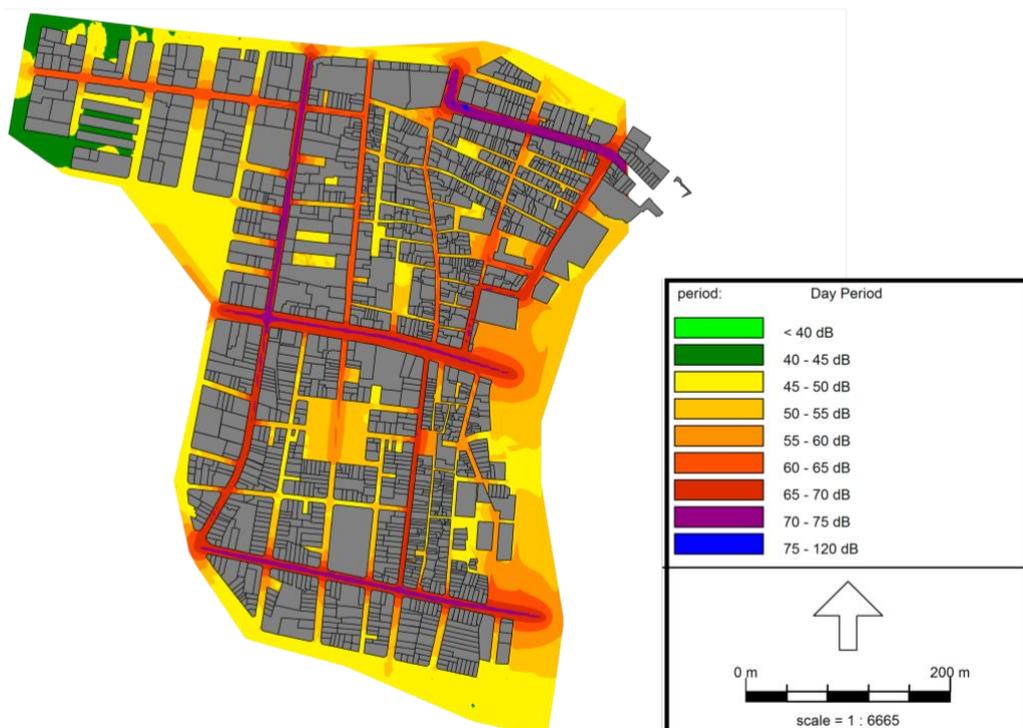


Figura 15: Mapa nivel de Día del Centro Histórico de la ciudad de Gandia.

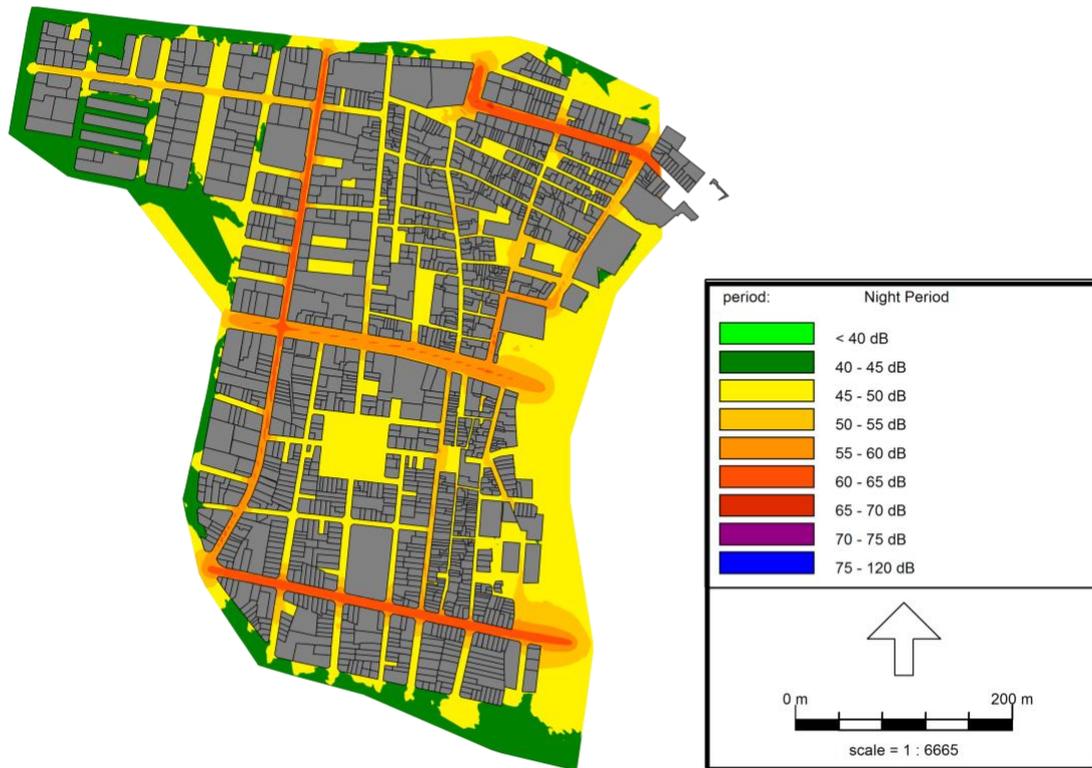


Figura 16: Mapa de nivel de Noche del Centro Histórico de la ciudad de Gandia.

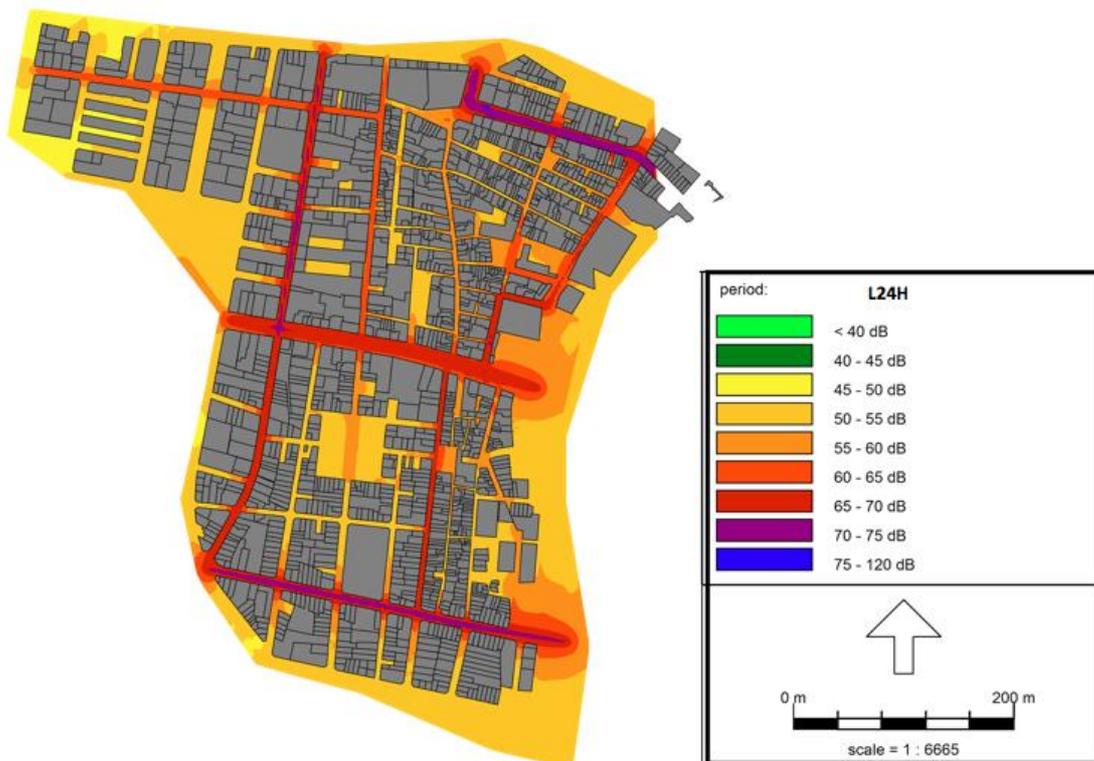


Figura 17: Nivel de 24h en el Centro Histórico de la ciudad de Gandia.

Las ilustraciones anteriores nos aportan una visión general, de una forma aproximada, de los niveles de ruido existentes en la zona bajo estudio originado por el tráfico rodado.

Para poder visualizar mejor los mapas, ir a al Anexo 3. Mapas MER.

En las siguientes figuras se puede observar el histograma en periodo diurno y nocturno de la distribución de niveles de ruido obtenidos clasificados en escala de 5 dBA (ver Figuras 18 y 19).

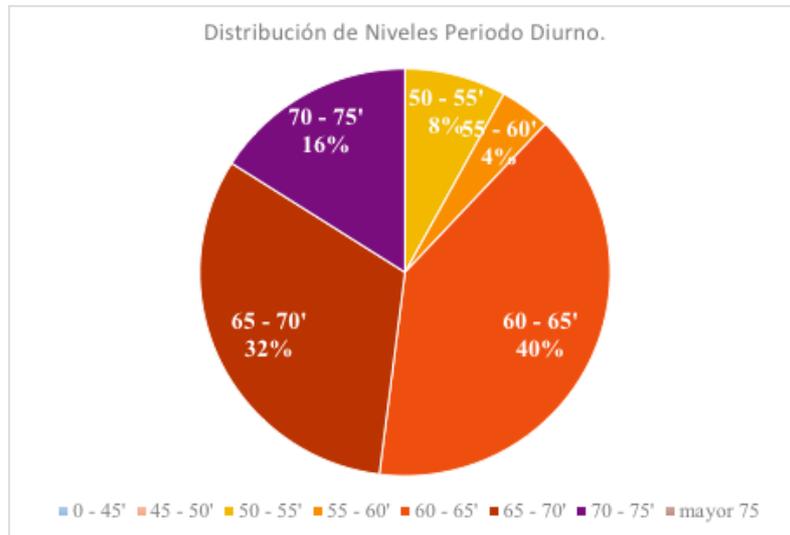


Figura 18: Distribución de niveles periodo diurno en dBA.

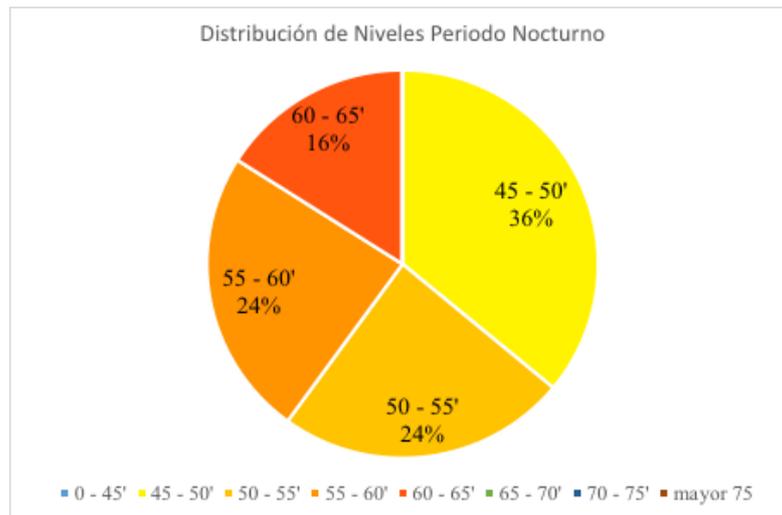


Figura 19: Distribución de niveles periodo nocturno en dBA.

Según se puede observar en las gráficas anteriores, se obtiene un 32% de puntos con un nivel de ruido de entre 65 y 70 dBA, y un 16% con un nivel de entre 70 y 75 dBA en el periodo diurno, mientras que en el periodo nocturno encontramos que un 40% de puntos superan los 55 dBA.

7.2. Cumplimiento de los niveles acústicos.

Previamente, dando cabida a este pequeño apartado del *Capítulo 7*, y según como se analizó en el *Capítulo 4*, y poder estudiar el porcentaje de usuarios afectados en la superficie evaluada; se establecen unos límites de presión sonora, para cada una de las diferentes leyes vigentes, evaluando el tipo de suelo según la Ordenanza Urbana. Por ende, se pasa a analizar el cumplimiento o no cumplimiento de los puntos de posicionamiento bajo estudio según los niveles que se observaron en la *Tabla 1* donde se fijaron los niveles de presión sonora límites según la Ley Nacional del Ruido 37/2003 junto al Real Decreto 1367/2007 y en la *tabla 2* donde se fijaron los niveles de presión sonora según la Ley del Ruido de la Comunidad Valenciana Ley 07/2002.

<i>Punto</i>	<i>Calle</i>	<i>Periodo</i>	<i>Área Acústica</i>	<i>LAeq Maximo permitido en normativa. (dBA)</i>	<i>LAeq Medido (dBA)</i>	<i>Cumple</i>
P1	<i>Plaza Mayor</i>	Diurno	Residencial	55	62,9	NO
		Nocturno		45	50,6	NO
P2	<i>Calle Duque Alfonso el Viejo, 1</i>	Diurno	Residencial	55	68,0	NO
		Nocturno		45	60,2	NO
P3	<i>Calle de Las Carmelitas, 6</i>	Diurno	Residencial	55	64,7	NO
		Nocturno		45	55,6	NO
P4	<i>Av. De Alicante, 50</i>	Diurno	Residencial	55	70,2	NO
		Nocturno		45	62,9	NO
P5	<i>Calle San Pascual</i>	Diurno	Residencial	55	59,1	NO
		Nocturno		45	52,9	NO
P6	<i>Plaza Escuelas Pías</i>	Diurno	Docente/Residencial	45	60,2	NO
		Nocturno		35	50,2	NO
P7	<i>Calle Mayor, 54</i>	Diurno	Residencial	55	64,6	NO
		Nocturno		45	50,0	NO
P8	<i>Paseo Germanias, 10</i>	Diurno	Residencial	55	68,2	NO
		Nocturno		45	58,8	NO
P9	<i>Paseo Germanias, 40</i>	Diurno	Residencial	55	68,5	NO
		Nocturno		45	58,1	NO
P10	<i>Calle San Francisco de Borja, 73</i>	Diurno	Residencial	55	61,3	NO
		Nocturno		45	49,7	NO
P11	<i>Calle San Francisco de Borja, 35</i>	Diurno	Residencial	55	63,5	NO
		Nocturno		45	49,1	NO
P12	<i>Calle San Francisco de Borja, 3</i>	Diurno	Docente	45	62,0	NO
		Nocturno		35	48,2	NO
P13	<i>Calle San Rafael, 27</i>	Diurno	Docente/Residencial	45	70,2	NO
		Nocturno		35	61,5	NO
P14	<i>Calle San Rafael, 8</i>	Diurno	Residencial	55	70,6	NO
		Nocturno		45	60,5	NO
P15	<i>Calle Rausell, 11</i>	Diurno	Residencial	55	61,8	NO
		Nocturno		45	49,5	NO
P16	<i>Plaza Prado</i>	Diurno	Residencial	55	60,9	NO
		Nocturno		45	47,1	NO
P17	<i>Calle San Vicente Ferrer, 20</i>	Diurno	Residencial	55	68,6	NO
		Nocturno		45	60,2	NO
P18	<i>Plaza del Molino</i>	Diurno	Residencial	55	53,9	SI
		Nocturno		45	46,6	NO
P19	<i>Calle Vora Riu, 1</i>	Diurno	Residencial	55	53,2	SI
		Nocturno		45	46,4	NO
P20	<i>Calle Pellers, 20</i>	Diurno	Residencial	55	67,6	NO
		Nocturno		45	56,0	NO
P21	<i>Av. Raval, 1</i>	Diurno	Residencial	55	69,0	NO
		Nocturno		45	63,4	NO
P22	<i>Av. Raval, 2</i>	Diurno	Residencial	55	69,1	NO
		Nocturno		45	63,1	NO
P23	<i>Av. Raval, 3</i>	Diurno	Residencial	55	72,3	NO
		Nocturno		45	63,3	NO
P24	<i>Calle 9 de Octubre, 6</i>	Diurno	Residencial	55	68,5	NO
		Nocturno		45	50,7	NO
P25	<i>Calle 9 de Octubre, 42</i>	Diurno	Sanitario/Residencial	45	62,9	NO
		Nocturno		35	51,0	NO

Tabla 10: Análisis cumplimiento de la Autonómica Vigente.

En el Anexo 8. *Cumplimiento de la normativa*, se puede observar una tabla comparativa del cumplimiento de las medidas exigidas a nivel nacional y estatal en las localizaciones estudiadas. Al mismo tiempo, decir que los puntos P1, P5, P7, P10, P11, P15, P16, P18, P19 y P25 cumplen con los niveles exigidos tanto para el nivel diurno como nocturno, mientras que el P3, P12 y P24

cumplen en el horario diurno, y el resto de las localizaciones no cumplen la normativa exigida a nivel estatal.

Por último y de forma más gráfica, se presentan los resultados en forma de porcentajes (ver Figura 20) de los puntos que cumplen y no cumplen la normativa.

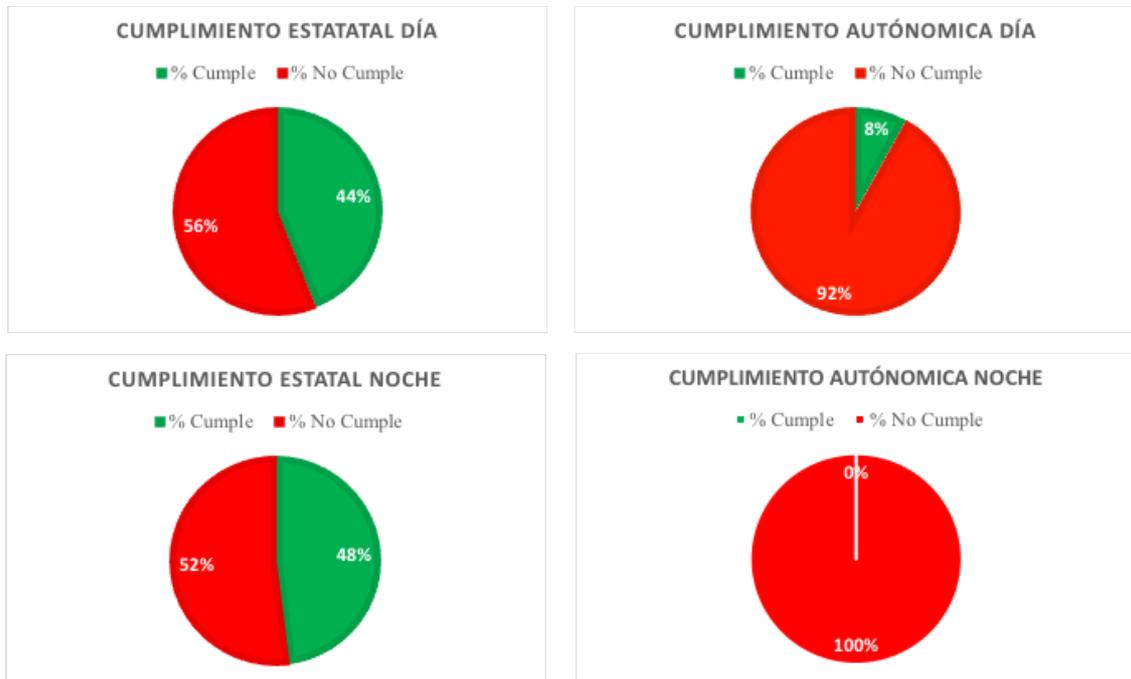


Figura 20: Comparativa cumplimiento de la normativa.

7.3. Número de personas y superficie afectadas.

Para realizar los cálculos de la cantidad de población que se encuentra afectada por la contaminación acústica en la zona de estudio, se tomó que la ciudad de Gandia cuenta con un total de 73.800 habitantes, teniendo una densidad de población de 13.232 habitantes por kilómetro cuadrado. Teniendo en cuenta el área total de Gandia, se estimó la densidad de población para la zona sometida a estudio y el número de habitantes por cada una de las zonas (ver Tabla 11).

Lden	Zonas	Superficie expuesta		Población Expuesta	
		Km ²	%	Habitantes	%
50-55	Z3	0,107	22	1400	22,6
55-60	Z4	0,145	31	1900	30,6
60-65	Z1-Z2	0,223	47	2900 ⁹	46,8

Tabla 11: Población y superficie expuesta a los niveles de contaminación acústica.

7.4. Número de personas molestas.

Anteriormente se presentaron los MR del Centro Histórico de la ciudad de Gandia, los cuales indican la distribución de la contaminación sonora en la superficie del territorio, pero en ellos no se expone la cantidad total de gente que se encuentra afectada dicho ruido. En el apartado anterior, sí se ha estimado el número de personas afectadas por el ruido, dato obtenido a partir de los MR,

⁹ Según la Directiva Europea 2002/49/CE, solicita expresar el número de personas expuestas, redondeado a la centésima.

pero en el actual apartado se pretende cuantificar el grado de molestia percibida por la población afectada. Esto es un dato subjetivo, por ello los MER suelen complementarse con encuestas realizadas *a pie de calle*, pero también existen simples métodos de aproximación para estimar el porcentaje de personas molestas (%A) y el porcentaje de personas muy molestas (%HA) por el ruido que les afecta.

Según la Directiva Europea 2002/49/CE, en su Anexo IV, se solicita estimar cual es el número total de personas afectadas, expuestas en sus viviendas a 4 metros de la fachada y sometidas a todos los niveles de L_{den} .

Dado que, en este caso, no se realizaron medidas subjetivas, tal y como son las encuestas, se procede a realizar una aproximación de la población afectada por el ruido en la zona bajo estudio mediante las estimaciones propuestas por el Grupo de Trabajo 2 de Dosis/Efecto (WGA) de la UE, donde se relacionan los niveles de ruido producidos por el tráfico rodado, y las molestias percibidas por la población.

Se utilizaron los siguientes polinomios para poder realizar una aproximación de la población molesta (%A) y la población muy molesta (%HA) [29]:

$$\%A = 1.795 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{den} - 37)^3 + 2.110 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{den} - 37)^2 + 0.535 \cdot (L_{den} - 37) \quad (29)$$

$$\%HA = 9.868 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{den} - 42)^3 + 1.436 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{den} - 42)^2 + 0.511 \cdot (L_{den} - 42) \quad (30)$$

En la *Figura 21*, se muestra la comparativa existente entre las zonas de población expuesta al ruido de forma molesta y muy molesta.

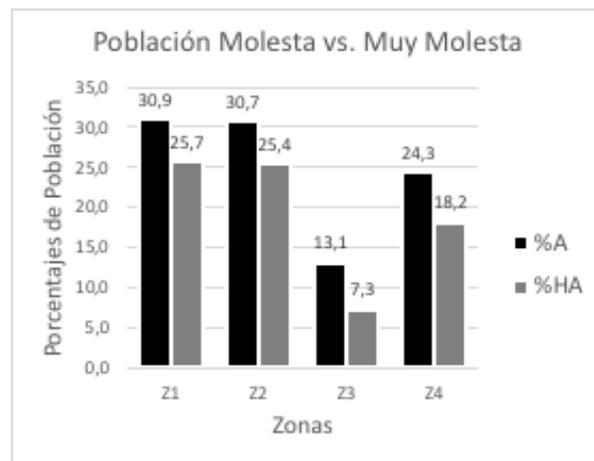


Figura 21: Porcentaje de población molesta y muy molesta.

En la siguiente tabla (ver *Tabla 12*) se puede observar el estudio realizado del porcentaje de población que se encuentra afectado por el ruido generado en el área bajo estudio.

Zona	L_{den} H	Habitantes/Zona	% Habitantes CH	%A	Población A (Hab.)	%HA	Población HA (Hab.)
Z1	62,8	1.700	27,4	30,9	526	25,7	437
Z2	62,7	1.200	19,4	30,7	368	25,4	305
Z3	51,8	1.400	22,6	13,1	184	7,3	102
Z4	59,3	1.900	30,6	24,3	462	18,2	345
Total		6.200 ¹⁰		24,8	1.540	19,2	1.189 ¹¹

Tabla 12: Estimación de la cantidad de personas molestas y muy molestas en la superficie bajo estudio.

¹⁰ En la Directiva Europea 2002/49/CE solicita estimar el número de personas expuestas, redondeando a la centésima.

¹¹ En el *Anexo 9. Densidades de población*, se puede observar la tabla de manera más detallada.

Capítulo 8. Comparativa de resultados con estudios anteriores existentes.

Como ya se comentó anteriormente, este documento trata de ser una actualización de las campañas anteriores que se realizaron en la ciudad de Gandia, por ello se justifica la existencia de este capítulo donde se analiza y estudia los diferentes puntos de medición en las cuatro campañas existentes:

1. Los estudios de D. José Romero Faus en el año 1985 cuyo nombre fue “*Investigación Sobre Ruido Ambiental de Gandia (Medida de Niveles Acústicos de Gandia con el Tráfico y con la Respuesta Subjetiva)*” [30]. Basándose en este estudio, se pudo realizar el primer MER de la ciudad de Gandia nombrado “*Pla Especial de Revitalització i Millora del Medi Urbà (PERIMMU)*” [31] junto con el estudio de los siguientes años del informe “*Programa de Renovación de la Ciudad Medieval de Gandia (PRU)*” [32].
2. El segundo MER, que llevaba el nombre de “*Mapa Acústico de la Ciudad de Gandia*” [33] realizado por la empresa Acusttel en el año 2004.
3. El estudio del nivel de contaminación del CH de la ciudad de Gandia, recogido en el TFM del D. Joaquín López Ibañez realizado en 2011.

Con toda esta bibliografía recolectada se procedió a seguir con los siguientes puntos:

- Se hizo uso de Excel para poder tratar los datos estadísticos, y de esta forma realizar la evolución del ruido en las zonas de estudio.
- Se realizó una comparación de los resultados del presente estudio con los estudios mencionados anteriormente.
- Se realizó la caracterización estadístico-cartográfica de la zona, con los niveles de ruido obtenidos en los diferentes periodos del día.

8.1. Evolución histórica del ruido experimental en puntos específicos.

La **primera campaña** de medidas se realizó en el año 1984, siguiendo un método experimental. Se cuenta con un total de 47 puntos de medición. Sus medidas se realizaron en días laborables entre las 10 H y las 20 H, de marzo a junio, y los niveles obtenidos son dispersos entre 50 y 80 dBA. Solo se encuentran 9 puntos por debajo de los 65 dBA y en 20 de los puntos se superan los 75 dBA. Además, se realizaron medidas continuas en 22 de los puntos de la campaña, y esto permitió obtener medidas en periodo nocturno y poder conocer la variación temporal.

Referente al tráfico que circulaba por la ciudad en aquel año, cabe destacar la circulación de vehículos por la carretera CN-332 (Alicante-València), que atravesaba la ciudad con una densidad de tráfico media de 23.000 vehículos al día. Por otra parte, se indica que, durante los meses de julio, agosto y diciembre, la densidad de tráfico era especialmente más elevada.

Respecto a la población de aquella época se indica que, según el censo, se encuentra un total de 51.000 habitantes.

Por aquel entonces no existía normativa estatal vigente, por lo que el estudio se realizó siguiendo las recomendaciones internacionales.

La **segunda campaña** se realizó en el año 2004, donde se encuentra un estudio más detallado de los niveles de ruido de la ciudad realizado por la empresa de acústica local *Acusttel*.

Con este estudio se concluyó que la principal fuente de ruido de la ciudad era la del tráfico rodado. En él, se evaluó la distribución espaciotemporal del ruido en la ciudad, y se tuvo en cuenta los diferentes usos urbanos.

En el estudio, las vías que presentan niveles de ruido más elevados son las siguientes:

- Gran Vía del Castell de Bairén.
- Av. de València.
- Av. de Alicante.
- Av. del Grau.
- Carretera Nazaret-Oliva.
- Circunvalación N-332.
- Paseo de las Germanías.

Esta vez, se realizaron 155 medidas puntuales. Se realizan medidas en 6 tramos diferentes del día: 3 en horario diurno y 3 en horario nocturno. Las medidas se realizaron desde abril hasta agosto, y dada la gran extensión de trabajo, solo se transcriben los resultados de las mediciones de la zona bajo estudio:

- La Vila y Vilanova.
- Raval y Prado.

La **tercera campaña** se llevó a cabo por el ingeniero D. Joaquín López Ibañez en su Proyecto Final de Máster “*Revisión histórica y actualización del mapa acústico del centro histórico de Gandia*” en el año 2011 [3]. Este estudio realizó medidas de los niveles de ruido en el Centro Histórico de la ciudad de Gandia, los cuales pretende actualizar el presente estudio. Se tomaron 24 puntos de medición y se realizaron mediciones de 10 minutos con un total de 3 mediciones por punto en horario diurno y nocturno.

Durante la campaña, la ciudad contaba con un total de 82.201 habitantes según el padrón municipal de 2010 y su centro histórico ya se encontraba casi por completo peatonalizado.

A continuación, se muestra una tabla con la variabilidad del nivel L_{Aeq} en horario diurno en las diferentes campañas realizadas (ver Tabla 13).

<i>Punto</i>	<i>Localización</i>	<i>Lden</i> <i>1984</i>	<i>Lden</i> <i>2004</i>	<i>Lden</i> <i>2011</i>	<i>Lden</i> <i>2018</i>
<i>P1</i>	<i>Plaza Mayor</i>	--	58,1	59,8	62,9
<i>P2</i>	<i>Calle Duque Alfonso el Viejo, 1</i>	71,4	69	64,8	68,0
<i>P3</i>	<i>Calle de Las Carmelitas, 6</i>	--	69,3	66,7	64,7
<i>P4</i>	<i>Av. De Alicante, 50</i>	79,5	73,6	70,4	70,3
<i>P5</i>	<i>Calle San Pascual</i>	71,1	--	67,8	59,1
<i>P6</i>	<i>Plaza Escuelas Pías</i>	--	66,8	63,3	60,3
<i>P7</i>	<i>Calle Mayor, 54</i>	--	--	68,3	64,6
<i>P8</i>	<i>Paseo Germanias, 10</i>	71,2	--	66,3	68,3
<i>P9</i>	<i>Paseo Germanias, 40</i>	76,5	70	67,3	68,6
<i>P10</i>	<i>Calle San Francisco de Borja, 73</i>	--	68,7	61,5	61,3
<i>P11</i>	<i>Calle San Francisco de Borja, 35</i>	--	68,5	59,6	63,5

P12	Calle San Francisco de Borja, 3	71,2	70,1	61,8	62,1
P13	Calle San Rafael, 27	68,2	--	72	70,3
P14	Calle San Rafael, 8	--	69,8	72,8	70,7
P15	Calle Rausell, 11	--	69,6	58,4	61,9
P16	Plaza Prado	--	--	62,9	61,0
P17	Calle San Vicente Ferrer, 20	65,5	70	69,9	68,7
P18	Plaza del Molino	--	--	56,3	53,9
P19	Calle Vora Riu, 1	--	--	62,9	53,2
P20	Calle Pellers, 20	74,4	63	64,9	67,6
P21	Av. Raval, 1	69	71	72,8	69,0
P22	Av. Raval, 2	63,2	--	71,5	69,2
P23	Av. Raval, 3	--	72,1	69,7	72,3
P24	Calle 9 de Octubre, 6	--	63,1	59,7	68,6
P25	Calle 9 de Octubre, 42	--	--	--	62,9

Tabla 13: Revisión histórica de los niveles de ruido en horario diurno del Centro Histórico de la ciudad de Gandia.

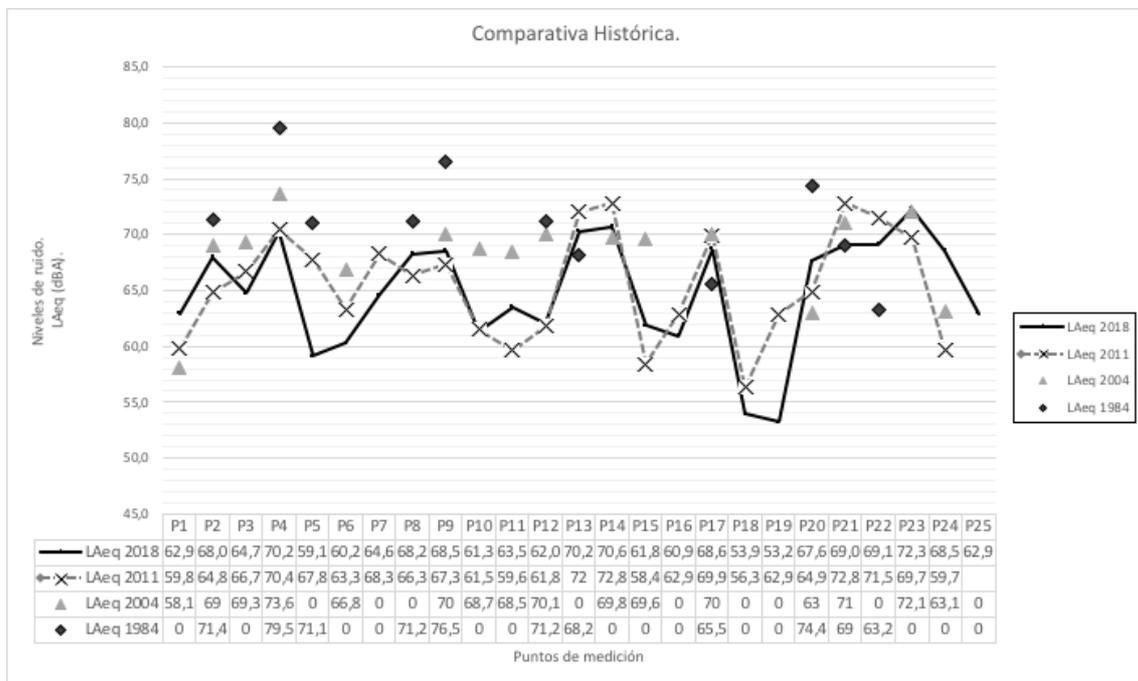


Figura 22: Comparativa histórica.

En la comparativa anterior se puede observar de forma visual la comparativa existente entre los diferentes niveles medidos en las campañas realizadas en la ciudad de Gandia (ver Figura 22). Esta gráfica y su tabla se pueden visualizar de forma más clara en el Anexo 4: “Revisión histórica”. Además existe un anexo complementario, el Anexo 5: “Revisión histórica de la población”, donde se detalla la evolución de la población desde el año 1900 hasta el año 2018.

8.2. Evolución histórica del número de personas molestas.

En este apartado se ha aplicado la estimación de personas con grado de molestia a los datos de la campaña del año 2011. Se pretende así realizar una comparativa y estudiar la evolución de ésta frente a los datos actuales. En la siguiente tabla se exponen los resultados (ver tabla 14):

Zonas	Puntos	Puntos de medición	Ld (dBA)	Ln (dBA)	Lden (dBA) Simulado	LAeq (dBA) por Zona	%A	%HA
Zona 1	P07	Mayor, 34	68,3	55,7	66,1	64,3	34,0	29,5
	P01	Ayuntamiento	59,8	59,9	59,8			

Zona 2	P05	San Pascual	67,8	57,3	65,7			
	P02	Duc alfonç el vell	64,8	57	62,9			
	P13	Sn Fr Borja, 3	61,8	53,4	59,9			
	P12	Sn Fr Borja, 35	59,6	58,3	59,1	59,3	24,5	18,3
	P10	Sn Fr Borja, 73	61,5	57,3	60,2			
Zona 3	P11	9-oct-06	59,7	50,8	57,7			
	P19	Pl Moli	56,3	47,4	54,3	58,7	23,3	17,1
Zona 4	P20	Vora Riu	62,9	51,9	60,8			
	P16	Rausell	58,4	53,3	56,9	59,2	24,2	18,0
	P17	Prado	62,9	47,5	60,6			

Tabla 14: Niveles de ruido en zonificación en las mediciones de 2011 y estimación de su molestia percibida¹².

Para visualizar la comparativa entre campañas se procede a presentar las siguientes gráficas.



Figura 23: Comparativa histórica de población molesta y muy molesta.

Por lo que se puede observar en las gráficas, las zonas 1 y 3 disminuyen el número de personas afectadas por el ruido, mientras que la zona 4 se mantiene, y la zona 2 aumenta el número de población afectada.

¹² Se han realizado los cálculos para las medicaciones que se obtuvieron en el año 2011, y se han comparado con los obtenidos en la campaña actual.

Capítulo 9. Conclusiones.

Conclusión 1: Como se puede observar en la *Tabla 10* y la *Figura 20*, el Centro Histórico de la ciudad de Gandia sigue manteniendo niveles de Contaminación Acústica elevados, en la *Tabla 1* pueden observarse los niveles sonoros externos máximos para la ley autonómica 7/2002. Es por ello, que la ciudad se sigue considerando una ciudad ruidosa y que no cumple con la normativa autonómica.

Aun estando el CH de la ciudad peatonalizado en su gran mayoría se sigue sin rebajar los niveles de ruido, lo que demuestra que esta acción mitigadora sola no va a eliminar completamente el ruido. Esto es debido a que actualmente el tráfico por el CH no se encuentra controlado, ya que admite la circulación del transporte público por alguna de sus calles y el tráfico de coches de personas que residen en la zona, así como camiones de reparto que dan servicio a los locales.

Conclusión 2: Del análisis de los niveles de *Lden* obtenidos esta campaña, se pudieron estimar los porcentajes de población molesta y muy molesta (*ver Tabla 12* y *Figura 21*). Con estos valores, se llega a la conclusión de que el 25% de la población en el CH está molesta con el ruido y el 19,2% está muy molesta; lo que significa que casi la mitad de la población en el CH percibe el ruido como molestia.

Conclusión 3: Se puede comprobar en la *Figura 22* que, desde la primera campaña realizada en el año 1984 hasta la campaña previa a esta realizada en el año 2011, los niveles de presión sonora en la superficie estudiada tienden a reducirse, es decir, se observa una disminución del ruido considerable, por lo que se considera una correcta evolución en la ciudad de Gandia, pues se ha estado trabajando durante años para mejorar el mapa sonoro de la ciudad. Pero los resultados obtenidos en la presente campaña no muestran la misma tendencia: se observan disminuciones en muchos de los puntos de medición, pero aún se mantienen los niveles altos (niveles por encima de la recomendación de la OMS y los niveles legales) e incluso existen localizaciones donde se empeora la situación. Adicionalmente se ha demostrado que existen zonas donde el nivel de ruido ha disminuido (*Tabla 13* y *gráfica 23*), la reducción es de entre 3 y 8 dBA aproximadamente, pero sin embargo en la *Zona 2* se muestra un aumento de la población molesta por el ruido (*Figura 23*), esto se debe a la apertura de nuevos locales de ocio en la zona. Por ello, se debe seguir trabajando en la mitigación de la contaminación acústica, pues como se vio con anterioridad en el cumplimiento de la Ley autonómica, son apenas dos puntos del total de las localizaciones los que estarían cumpliendo el nivel permitido por la ley (*ver Tabla 1*), pero en ningún caso se cumplen los niveles durante el periodo nocturno bajo la ley autonómica (algo preocupante y al que la administración deberá aplicar medidas para su disminución).

Si se considera la ley estatal, se consiguen mejorar los cumplimientos, ya que el 48% de las localizaciones estarían cumpliendo el nivel de ruido permitido en periodo nocturno, y el 44% de

las localizaciones para el periodo diurno, aun así ni la mitad de los puntos registrados estarían en cumplimiento de la ley estatal, que recordemos es menos restrictiva que la autonómica.

Conclusión 4: Las medidas en puntos donde no existe prácticamente tráfico (vías peatonales), demuestra que no sirven las simulaciones del software *predictor* si se pretende simular tráfico de ruido como fuente lineal. Se debería realizar la media del ruido con medidas de tiempo prolongado, y si se desea simular ya se realizaría como fuente puntual. Tal y como se ha demostrado en el presente trabajo, la desviación con tráfico bajo es demasiado alta (*ver Tabla 9*).

Conclusión 5: La realización de este trabajo llevó a poder obtener los MER actuales del barrio del Centro Histórico de la ciudad. Todos los datos recolectados en campaña, los MR realizados y la investigación de la población afectada y molesta, permitieron conseguir el Mapa Estratégico de Ruido, que nos ayudó a comprender de una manera más eficaz la evolución del ruido en la ciudad, y poder estimar los porcentajes de usuarios afectados por las molestias.

A continuación, se sugieren algunas posibles medidas a implantar que ayuden a reducir el ruido de la ciudad:

- Protegiendo a la población del ruido, considerando la contaminación acústica como una parte integral de políticas de medidas de mitigación de acuerdo con la protección con el medioambiente. De esta forma, se trataría el ruido como un tema de población en la evaluación medioambiental.
- A lo largo de este documento, se ha podido observar que la legislación referente al ruido existe, y en algunos casos, como la ley autonómica de la Comunidad Valenciana exige niveles muy restrictivos, los cuales no se llegan a cumplir en ningún caso. Por ello que se debería exigir el cumplimiento de la ley vigente a la vez que suavizar los niveles exigidos por la ley autonómica, pues si no se cumplen los niveles estatales (más permisivos), de poco sirve endurecer la ley autonómica. Se debería elaborar planes que contribuyesen a la reducción de ruido, especialmente para el caso del CH donde se mostrase gran hincapié en la convivencia de la zona residencial con la zona de ocio de la ciudad.
- Creación de planes de acción que se desarrollen a corto, medio y largo plazo, donde el objetivo principal sea reducir de forma progresiva los niveles de contaminación acústica de la ciudad, como se consiguió en el periodo 2004- 2011. Los objetivos deben ser progresivos y razonables, estudiando su evolución periódicamente con puntos de control para realizar una evaluación real.
- En las zonas donde se lleguen a niveles de ruido elevados, se debería instalar estaciones de monitorización de ruido. Se podría mostrar a la población el nivel a tiempo real con indicadores luminosos en la propia calle, como primera medida de concienciación poblacional.
- Realización de campañas de concienciación ciudadana, dispuestas a educar en el modo de convivencia en la ciudad para reducir los niveles de ruido y así conseguir un mayor bienestar en la población.

Referencias Bibliográficas.

- [1] AVILÉS LÓPEZ, R., PERERA MARTÍN, R. (2017). *Manual de acústica*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- [2] AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE. *Aspectos destacados por la AEMA sobre el medio ambiente europeo*. < <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/archive-es> > [Consulta: 29 de Agosto de 2018]
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. *Datos de parque de vehículos 2016 (DGT) y datos padrón por provincias 2016 (INE)*. < <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/series-historicas/> > [Consulta 03 de Octubre de 2018]
- [4] AJUNTAMENT DE GANDIA. “*PLA ESPECIAL DE REVITALITZACIÓ I MILLORA DEL MEDI URBÀ (PERIMMU)*”. (PP663).
< <https://normativa.gandia.org/Documents/NORMESURBANISTIQUES/184.pdf> > [Consulta 29 de Agosto 2018]
- [5] AJUNTAMENT DE GANDIA. “*HOMOLOGACIÓ MODIFICATIVA DEL PLA GENERAL D’ORDENACIÓ URBANA*”
< <http://www.gandia.es/aytg/uploaded/URBANISME/NormesUrbJuny2009.pdf> > [Consulta: 29 de Agosto de 2018]
- [6] LÓPEZ IBAÑEZ, J. (2012). *Revisión histórica y actualización del mapa acústico del centro histórico de Gandia*. Tesis de Master. Gandia: Escuela Politécnica Superior de Gandia.
- [7] BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO. *Código del Ruido*.
< <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-20976> > [Consulta: 03 de Octubre 2018]
- [8] CC.OO. (2007) “LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO Guía para una intervención sindical” Edición: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).
- [9] Linares, J., Llopis, A., Sancho, J. (2011). *ACUSTICA ARQUITECTONICA Y URBANISTICA*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- [10] RAMOS. R. “MEDIDAS DE RUIDO”
< https://www.ugr.es/~ramosr/CAMINOS/conceptos_ruido.pdf > [Consulta: 25 de Agosto de 2019]
- [11] Demian H. Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health? *Sleep Science* 2014: 7;209- 212

- [12] THE UNIVERSITY OF PITTSBURGH. *Archive of European Integration (AEI)*The Green Paper on Future Noise Policy. COM (96), 540 final ,04 November1996.
- [13] 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.
- [14] BOE, 276. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. España, 2003.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] BOE, 178. Real Decreto 1038/2012, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. España, 2012.
- [18] DOGV. Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de protección contra la contaminación acústica. Valencia, 2002.
- [19] DOGV, 5166 LEY 14/2005, de 23 de diciembre, de la Generalitat, de Medidas Fiscales, de Gestión Financiera y Administrativa, y de Organización de la Generalitat. España 2005.
- [20] DOGV, 4901 Real 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. España 2004.
- [21] DOGV, 5305 Real Decreto 104/2006, de 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica. España 2006.
- [22] Brüel&Kjær Sound & Vibration Measurement A/S. (2007). Analizador portátil Tipo 2250. Manual de usuario. Dinamarca.
- [23] AENOR. UNE-ISO 1996-2, Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental (2009). España.
- [24] PREDICTOR TYPE 7810. *Manual de usuario*. Brüel & Kjaer, Dinamarca, 2008.
- [25] Montes González, D. Barrigón Morillas, J. M. et al (2016) “MAPAS DE RUIDO Y METODOLOGÍAS DE MEDIDA BASADAS EN ISO 1996” en EuroRegio 2016. Porto, Portugal.
- [26] GUM (1995) “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. 2nd ed. (International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland).
- [27] Propuesta presentada por Grupo de Trabajo 2 de Dosis/Efecto (WG2) de la Unión Europea.
- [28] MINISTERIO DE FOMENTO. GOBIERNO DE ESPAÑA (2019). Mapas Estratégicos de Ruido (MER) <<https://www.fomento.gob.es/aviacion-civil/medioambiente/mapas-estrategicos-ruido>> [Consulta: 10 de Septiembre de 2019]
- [29] QUIROZ RANGEL, C. A. (2018). Estudio de la Contaminación Acústica en la Ciudad de Sueca. Tesis de Máster. Escuela Politécnica Superior de Gandia.
- [30] AYTO. DE GANDIA. Investigación sobre el ruido ambiental de Gandia. Medida de niveles Acústicos y su relación con el tráfico y con la respuesta subjetiva. José Romero y Amando García. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Valencia, 1987.
- [31] AYTO. DE GANDIA. Pla Especial de Revitalización i Millora del Medi Urbà (PERIMMU). 1989-1995.
- [32] AYTO. DE GANDIA. *Programa de Renovación de la Ciudad Medieval de Gandia* (PRU). 1995.
- [33] AYTO. DE GANDIA. *Mapa Acústico de la Ciudad de Gandia*. Acusttel,2004.