

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

GRADO EN ING. SIST. DE TELECOM., SONIDO E IMAGEN



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Evaluación de la contaminación acústica del Hospital Francesc de Borja de Gandia”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Álvaro Ferrer Claver

Tutor/a:

Juan Antonio Martínez Mora

GANDIA, 2020

Evaluación de la contaminación acústica del Hospital Francesc de Borja de Gandia.

Autor: Ferrer Claver, Álvaro

Director: Martínez Mora, Juan Antonio

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el estudio de la contaminación acústica que se produce sobre el Hospital Francesc de Borja de Gandia debido a diversos factores principalmente por el ruido de tráfico.

En primer lugar, se realiza un diagnóstico del estado inicial mediante un mapa acústico. Para ello se establecen 15 puntos de medida repartidos por el recinto propio del hospital y alrededores, en especial cerca de las principales fuentes de ruido.

Una vez seleccionados los puntos se realiza una campaña de medidas de los niveles sonoros para el periodo diurno (8:00h – 22:00h), de acuerdo con la legislación de la Generalitat Valenciana.

El siguiente paso consiste en realizar una simulación de los niveles de ruido utilizando el programa de Bruel&Kjaer Predictor V2019.3, con el cual obtenemos un mapa sonoro con los diferentes niveles de ruido. Para validar el modelo introducido en el programa se compararán los valores medidos y los obtenidos por simulación comprobando que la diferencia sea del orden de 3 dB.

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

Por último, en el caso que fuese necesario se propondrá un plan de actuación para mejorar los niveles de ruido.

PALABRAS CLAVE

Contaminación acústica, Mapa de ruido, Predicción acústica, Cálculo de incertidumbres, Predictor.

ABSTRACT

The main objective of this project is the study of noise pollution that occurs over the Hospital Francesc de Borja de Gandia due to various factors mainly the road traffic.

First, a diagnosis of the initial state is made using an acoustic map. To this end, 15 measuring points are distributed throughout the hospital's own area and its surroundings, especially near the main sources of noise.

Once the points have been selected, a campaign is carried out to measure the sound levels for the daytime period (8: 00h - 22: 00h), in accordance with the legislation of the Generalitat Valenciana.

The next step is to simulate the noise levels using the Bruel & Kjaer Predictor V2019.3 program, with which we obtain a sound map with the different noise levels. To validate the model introduced in the program the measured and the predicted values will be compared, verifying that the difference does not exceed 3 dB.

The noise pollution produced on the hospital is evaluated by comparing the data obtained with the quality objectives defined by the regional and state legislation.

Finally, a plan of action is presented for the improvement of the sound levels in case it is necessary.

KEYWORDS

Acoustic pollution, Noise map, Acoustic prediction, Evaluation of uncertainties, Predictor.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1.	PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	5
2.	CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	10
2.1.	EFFECTOS NOCIVOS PARA LA SALUD	11
2.2.	POSIBLES SOLUCIONES FRENTE AL RUIDO	12
3.	LEGISLACIÓN	14
3.1.	LEGISLACIÓN ESTATAL.....	14
3.2.	LEGISLACIÓN AUTONÓMICA	16
4.	ESTUDIO Y REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS IN SITU	18
4.1.	METODOLOGÍA.....	18
4.2.	PROCEDIMIENTO REALIZADO EN LAS MEDIDAS	19
4.3.	INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA	20
5.	ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA	23
6.	RESULTADOS DE LAS MEDIDAS IN SITU	29
6.1.	CAUDAL DE VEHÍCULOS.....	29
6.2.	NIVEL SONORO EQUIVALENTE	30
7.	CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDIDAS.....	31
7.1.	INCERTIDUMBRE DEBIDA A LA INSTRUMENTACIÓN	32
7.2.	INCERTIDUMBRE DEBIDA A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	35
7.3.	INCERTIDUMBRE SEGÚN EL CLIMA Y EL SUELO	36
7.4.	INCERTIDUMBRE DEBIDO AL SONIDO RESIDUAL	37
7.5.	INCERTIDUMBRE ESTANDAR COMBINADA Y EXPANDIDA	39
7.6.	INCERTIDUMBRE TOTAL EN CADA PUNTO.....	40
8.	SIMULACIÓN.....	41
8.1.	NORMAS DE PREDICCIÓN.....	41
8.2.	INTRODUCCIÓN DE DATOS EN EL PREDICTOR	42
8.3.	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	44
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
9.1.	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	46
9.2.	CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA.....	47
10.	CONCLUSIONES	48
11.	PROPUESTA DE MEJORA	49
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	50

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas surgidos por la forma de vida de la sociedad moderna es la contaminación acústica que cualquier persona sufre a diario, sobre todo en el entorno de las grandes ciudades.

Pese a que este problema pasa desapercibido para la mayoría de la gente, se han realizado diversos estudios para demostrar la gran importancia que tiene sobre las personas y los graves efectos que puede provocar el estar sometido continuamente a niveles sonoros elevados.

Dentro del frenesí que hay dentro de las ciudades hay zonas que debemos intentar proteger especialmente, como son las zonas residenciales donde se localizan principalmente las casas y sobre todo las zonas denominadas como educativas y sanitarias donde se encuentran hospitales y centros sanitarios.

Por ello este trabajo va a centrarse en la contaminación acústica sufrida en una de esas zonas más sensibles como es el Hospital Francesc de Borja de la población de Gandia.

Se va a estudiar todo el entorno próximo localizando los posibles focos de ruido, principalmente ruido de tráfico, que puedan producir niveles sonoros molestos y así contrastar todos los datos recogidos y plantear posibles soluciones.

Se elegirán un total de 15 puntos y en cada uno de ellos se realizará un registro de todos los datos necesarios para el estudio, además de evaluar la incertidumbre asociada a cada una de las medidas realizadas.

Posteriormente, se comprobará si los datos registrados cumplen los objetivos de calidad sonora establecidos por las leyes estatal y autonómica y se hará una comparación con los resultados de predicción obtenidos con el software Predictor. Finalmente, en el caso de que fuera necesario, se procederá a elaborar un plan de actuación para reducir los niveles acústicos que superen los límites establecidos.

1.1. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La Acústica inicialmente fue una rama de la física que estudia el sonido, infrasonido y ultrasonido, es decir, ondas mecánicas que se propagan a través de un medio (sólido, líquido o gaseoso) y que se estudian mediante modelos físicos y matemáticos. En la actualidad la Acústica es una ciencia multidisciplinar que abarca desde la Acústica Física, Ingeniería Acústica civil, Acústica Submarina, Electroacústica, etc.

A efectos prácticos, la Ingeniería Acústica estudia la producción, transmisión, almacenamiento, percepción o reproducción del sonido.

Se considera el sonido como una onda que se propaga generalmente en el aire a una velocidad aproximada de 343 m/s en condiciones normales de presión atmosférica y temperatura (1 atm y 20 °C).

El ruido sin embargo se define como un sonido indeseado, molesto y desagradable y su clasificación no solamente es una cuestión acústica objetiva, sino que también influye la parte psicológica.

Para el estudio de la contaminación acústica que realizaremos en este proyecto necesitamos conocer ciertos parámetros básicos:

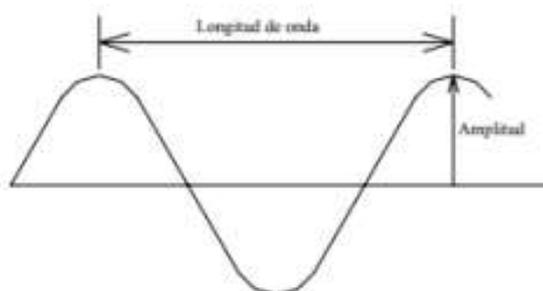


Ilustración 1. Onda sinusoidal básica

FRECUENCIA

Al golpear un objeto este entra en vibración, el número de oscilaciones completas que realiza el cuerpo por unidad de tiempo se llama frecuencia y se expresa en Hercios (Hz). Este movimiento excita las partículas de aire próximas generando una onda acústica de presión que se propaga en el aire.

La mayoría de los sonidos están compuestos por una amplia variedad de frecuencias. El oído humano es capaz de escuchar sonidos comprendidos entre 20 Hz y 20 kHz siendo más sensible en la banda comprendida entre 1 kHz y 4 kHz que es donde se encuentra el espectro de la voz humana.

El ruido es un sonido que contiene una combinación aleatoria de frecuencias y, por simplicidad, en vez de analizar cada componente en frecuencias por separado se analiza en una serie de bandas que cubran todo el espectro de interés, cada una de ellas caracterizada por una cierta frecuencia a la que se le asigna toda la energía acústica correspondiente a dicha banda. Estas bandas normalmente tienen una anchura de una octava o un tercio de octava. Este análisis de frecuencia tiene una gran utilidad cuando se tiene que especificar la protección auditiva requerida para una fuente sonora concreta.

Las bandas de octava se denominan por el valor de la frecuencia central, que es la media geométrica de las frecuencias superior e inferior. El rango de frecuencias quedará dividido en 10 bandas cuyas frecuencias centrales serán: 31.5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz y 8 kHz.

$$f_{central} = \sqrt{f_{sup}f_{inf}} = \sqrt{2}f_{inf}$$

El ancho de banda es la diferencia entre los límites superior e inferior de la banda de octava.

$$\Delta_f = f_{sup} - f_{inf} = f_{inf} = f_{central}/\sqrt{2}$$

Para medidas de mayor precisión, cada banda de octava se divide en tres bandas de tercio de octava, de forma que la relación entre las frecuencias superior e inferior de cada banda de tercio de octava es $\sqrt[3]{2}$.

$$f_{sup} = \sqrt[3]{2}f_{inf} \approx 1,26 f_{inf}$$

$$f_{central} = \sqrt{f_{sup} f_{inf}} = \sqrt[6]{2}f_{inf} \approx 1,12 f_{inf}$$

$$\Delta_f = f_{sup} - f_{inf} = (\sqrt[3]{2} - 1)f_{inf} = \frac{(\sqrt[3]{2} - 1)}{\sqrt[6]{2}} f_{central} \approx 0,23 f_{central}$$

LONGITUD DE ONDA

Es la distancia entre dos máximos sucesivos en una onda sinusoidal. Se relaciona con la frecuencia mediante la expresión $\lambda = c/f$, siendo c la velocidad de propagación del sonido en el medio.

PERÍODO

Es el tiempo transcurrido en el que el sonido avanza una longitud de onda. Se relaciona con la frecuencia mediante la expresión $T = 1/f$.

AMPLITUD

Mide las variaciones de presión, es decir, la amplitud de la onda. Dado que las variaciones de presión audibles se encuentran en una gama muy amplia se adoptó para su medición una unidad logarítmica llamada decibelio (dB).

PONDERACIÓN FRECUENCIAL

El oído humano no tiene una respuesta en frecuencia plana y esta respuesta además puede variar de forma considerable con el nivel de presión sonora. Las curvas de ponderación en frecuencia se crearon para intentar que los analizadores acústicos se aproximen lo más posible a la respuesta del oído, ya que son una simplificación de la respuesta en frecuencia del oído.

Las ponderaciones de frecuencia se usan para que el sonómetro mida e informe de los niveles de ruido que representan lo que oímos. Son filtros electrónicos que contiene el instrumento que ajustan el modo de medición de ruido.

Se han definido 3 redes de ponderación frecuenciales distintas para ser utilizadas en función del nivel de sonoridad a analizar:

- Red de ponderación A: Adecuada para niveles de 40 fonios. Se emplea para niveles bajos de presión sonora ya que atenúa bastante las frecuencias bajas (-50 dB a 20 Hz y -20 dB a 100 Hz) y en menor medida las agudas (-10 dB en 20 kHz). Es la ponderación adecuada para la medida de ruidos de fondo, que por definición son de nivel bajo.

- Red de ponderación B: Adecuada para niveles de 70 fonios. Es bastante similar a la curva de ponderación A excepto porque la atenuación en frecuencias bajas es mucho menor (-10 dB a 60 Hz). Algunos estudios afirman que es la mejor ponderación para emplear en las medidas de niveles de escucha musical.
- Red de ponderación C: Adecuada para niveles de 100 fonios. Es muy similar a la ponderación B en frecuencias agudas y apenas atenúa en frecuencias graves. Se emplea para la evaluación de ruidos de alto nivel.

Las diferentes ponderaciones frecuenciales pueden compararse en el siguiente gráfico:

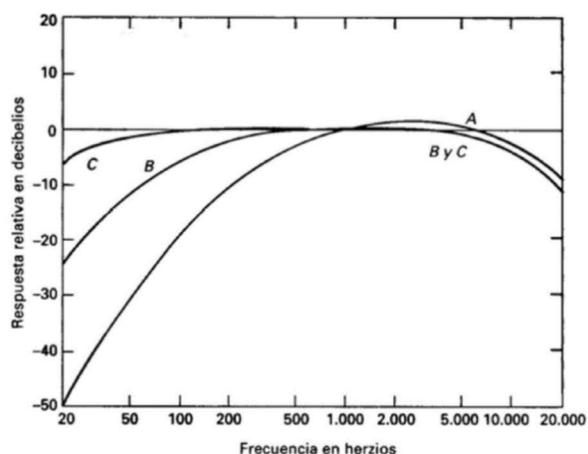


Ilustración 2. Curvas de ponderación frecuencial

La ponderación A es la más utilizada y la que se emplea en la legislación y normativas de ruido para evaluar la mayoría de las fuentes de ruido por ser la que más protege a las personas frente al ruido. El resultado de una medida realizada con la ponderación A se expresa en decibelios A, también abreviados como dBA o dB(A). Lo mismo sucede para las medidas realizadas con ponderación B o C.

Los valores de las diferentes ponderaciones en octavas con respecto a las frecuencias más utilizadas se muestran en la siguiente tabla:

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

Ilustración 3. Respuesta en frecuencia relativas a las curvas de ponderación frecuencial.

CURVAS ISOFÓNICAS

El espectro audible del ser humano engloba un rango de frecuencias muy amplio, desde los 20 Hz hasta los 20 kHz. A los sonidos con frecuencias inferiores a 20 Hz se les denomina infrasonidos, y a los sonidos con frecuencias superiores a 20 kHz se les denomina ultrasonidos. Las frecuencias que componen el espectro auditivo humano se pueden dividir en frecuencias bajas, medias y agudas.

Entendemos por sonoridad la magnitud subjetiva con la que percibimos el mayor o menor grado de intensidad de un sonido en el sistema auditivo humano. Permite ordenar los sonidos en una escala del más fuerte al más débil y se mide en fonios en dB y en una escala lineal en sonios. El oído humano no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias, a frecuencias medias y medias-altas presenta la máxima sensibilidad.

Para representar gráficamente las variaciones en la sonoridad en cada una de las frecuencias se utiliza el diagrama de curvas isofónicas, donde cada curva representa el nivel sonoro en dB necesario para obtener el mismo nivel de sensación sonora. Las primeras curvas de sonoridad fueron establecidas por Fletcher y Munson en 1933, recalculadas más tarde por Robinson y Dadson en 1956 y la última versión aparece en la norma ISO 226:2013 Acústica: Líneas isofónicas normales.

La curva de 0 fonios se corresponde con el umbral de audición y la curva de 120 fonios con el umbral del dolor. La frecuencia de 1 kHz se toma de referencia y los valores de sonoridad en fonios coinciden con los valores de los niveles de presión sonora en dB. Estas curvas son válidas para tonos puros y para un campo sonoro directo, dado que no tienen en cuenta que un sonido de banda ancha presenta mayor sonoridad y también que no percibimos por igual los sonidos si provienen de diferentes direcciones (por ejemplo en campo sonoro reverberante).

Podemos verificar cómo a medida que aumenta la intensidad sonora las curvas se hacen más planas, debido a la manera que se tensa el tímpano para protegerse de las intensidades acústicas altas. El eje de abscisas representa un rango de frecuencias que una persona joven y sin problemas auditivos debería oír (20 Hz-20 kHz). El eje de ordenadas representa el nivel de intensidad desde el umbral de audición hasta el umbral del dolor (desde 0 dB a 120 dB).

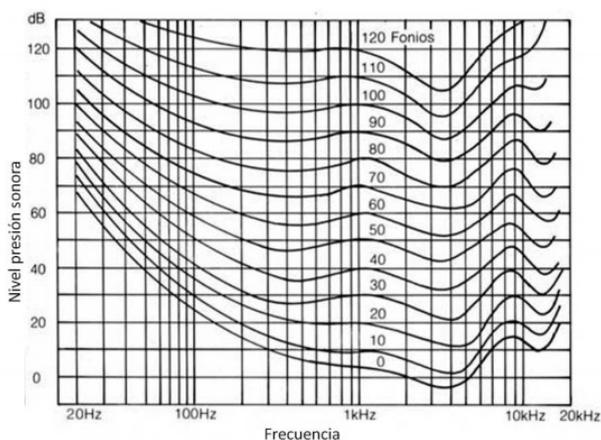


Ilustración 4. Curvas de igual sonoridad para tonos puros

2. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La contaminación acústica hoy en día continúa siendo uno de los principales problemas sobre todo en las grandes ciudades, ya que es donde la mayoría de las personas desarrollan sus actividades diarias en la sociedad actual.

Según datos recogidos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ruido es uno de los factores ambientales que mayor cantidad de enfermedades provoca. Lo más grave es que parece que la sociedad todavía no es consciente de lo dañina que puede resultar esta contaminación para nuestra calidad de vida y para nuestro entorno. Nos hemos acostumbrado a soportar una cantidad excesiva de ruidos provocados por las actividades humanas (tráfico, construcción, industrias, locales de ocio...) que causan una alteración temporal de nuestro equilibrio natural, y eso precisamente es la definición de contaminación acústica.

Las principales causas de la contaminación acústica son aquellas relacionadas con las actividades humanas como el transporte, la construcción de edificios, obras públicas y las industrias, entre otras:

- **Tráfico rodado:** Se define como el conjunto de ruidos producidos por la circulación de los vehículos a motor. Se estima que el 80% de la contaminación acústica producida en nuestras ciudades procede del tráfico rodado. Es el factor de ruido que más impacto tiene sobre la sociedad.
- **Ruido industrial:** A pesar de que las industrias suelen situarse en las afueras de las ciudades para no causar molestia en las zonas residenciales también son una importante fuente de ruido. Sus niveles dependen tanto de los niveles de presión acústica en su interior como del aislamiento acústico del que dispongan.
- **Tráfico aéreo:** Es el ruido provocado por el despegue y el aterrizaje de los aviones ya que la potencia acústica es máxima cuando el avión está más próximo al suelo.
- **Tráfico ferroviario:** Es el ruido producido por las vibraciones originadas por los raíles y las ruedas durante la circulación de vehículos que transportan materiales y personas en tren.
- **Otras fuentes de sonido:** Obras públicas y construcciones, bares, locales de ocio, estadios de fútbol...

2.1.EFECTOS NOCIVOS PARA LA SALUD

El nivel máximo de ruido recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) no debe ser superior a los 65 dB durante el día y los 55 dB durante la noche. La legislación europea todavía es un poco más restrictiva y establece los niveles máximos de ruido en 55 dB durante el día y 45 dB durante la noche. Si se sobrepasa ese límite el ruido se convierte en perjudicial para la salud y son muchos los estudios y expertos que alertan de que más de la mitad de la población está sometida a niveles sonoros muy por encima de este límite.

Los expertos de la OMS alertan sobre la relación directa que existe entre el exceso de ruido y el aumento de enfermedades, siendo la contaminación acústica la segunda causa de origen ambiental que provoca más alteraciones en la salud después de la contaminación atmosférica. Diversos estudios científicos han declarado de forma unánime que el ruido tiene efectos muy perjudiciales para la salud variando desde trastornos fisiológicos como puede ser la pérdida progresiva de audición hasta trastornos psicológicos producidos como son el insomnio y dificultad para conciliar el sueño lo que provoca irritación y cansancio al estar expuesto a niveles de ruido elevados, además de los riesgos físicos potenciales de sufrir accidentes de tráfico o laborales.

Dado que la percepción del ruido es subjetiva, cada persona lo vive de forma diferente, por lo que no todas las personas sienten las molestias por igual. Entre los efectos más significativos del ruido sobre la salud tendríamos los siguientes: estrés, perturbación del sueño, disminución de la concentración, irritabilidad, agresividad, dolor de cabeza, cansancio generalizado, alteración de la presión arterial, alteración del ritmo cardíaco, problemas de estómago, depresión del sistema inmunológico, alteración de los niveles de segregación endocrina, problemas mentales, estados depresivos, etc.

El cuerpo humano también sufre reacciones inmediatas al estar sometido a altos niveles de ruido como pueden ser dolor muscular provocado por contracciones involuntarias sobre todo en la zona de la espalda y el cuello, dilatación de las pupilas, alteración respiratoria y del pulso, taquicardias, dificultades para realizar la digestión, movimiento acelerado de los párpados y tensión de los vasos sanguíneos de las sienes que puede provocar dolores de cabeza. Los efectos se agravan cuando se trata de personas con alguna enfermedad cardiovascular o que sufren algún problema coronario ya que los ruidos fuertes y repentinos pueden llegar a provocar infartos.

Y por supuesto el problema más generalizado que podemos sufrir al exponernos a una contaminación sonora excesiva es la pérdida de audición. En parte es una consecuencia provocada por una respuesta de adaptación del organismo, que se acostumbra al ruido constante para así evitar los daños físicos y psicológicos a costa de perder capacidad auditiva. Según diversos estudios estar expuesto a ruidos superiores a 90 dB durante mucho tiempo provoca pérdida de audición permanente si lo hacemos de forma habitual. Una exposición continuada a niveles de ruido de más de 80 dB también podría llegar a producir los mismos efectos. También se pueden producir daños irreversibles en el oído si estamos expuestos más de 15 minutos a niveles de 100 dB y más de 1 minuto a niveles de 110 dB.

2.2.POSIBLES SOLUCIONES FRENTE AL RUIDO

Con el fin de disminuir el impacto que produce sobre la población el exceso de ruido se han planteado algunas medidas preventivas. En primer lugar se llevará a cabo un diagnóstico de la situación actual en una ciudad mediante la elaboración de mapas acústicos de los diferentes niveles sonoros en diversos puntos de la ciudad, haciendo énfasis en la localización de las diferentes fuentes como el sonido provocado por el tráfico, industria y zonas de ocio. También se estudiará en detalle cómo afecta la contaminación acústica a las zonas más sensibles como puedan ser zonas educativas o sanitarias sin olvidar las zonas residenciales.

Para realizar un adecuado control del ruido se medirá y evaluará el nivel de riesgo de cada caso para así aplicar las medidas de control del ruido más adecuadas. La reducción del ruido se debe llevar a cabo siguiendo la secuencia de medidas a tomar que se muestra a continuación, ordenadas de mayor a menor eficacia y de un aspecto colectivo a uno individual:

- Eliminar las fuentes molestas que producen el ruido.
- Control de producción del ruido (en el origen).
- Llevar a cabo la reducción a través de medidas en el entorno.
- Aplicar medidas de tipo individual.

A continuación, se explican los métodos más empleados para solucionar los posibles problemas de ruido:

Materiales absorbentes

Los absorbentes acústicos son productos diseñados para crear un entorno sonoro preciso y confortable. Están fabricados con materiales de alto rendimiento y, por tanto, son eficaces para reducir y controlar la reverberación a media y alta frecuencia, eliminar ecos indeseados y suavizar los efectos de los modos resonantes de las salas.

Acostumbran a ser materiales de baja densidad y gran flexibilidad. Por ejemplo, las fibras minerales (fibra de vidrio, lana de roca), las espumas acústicas (poliuretano, melamina) y los textiles (poliéster, algodón) forman parte de los absorbentes acústicos más comunes.

Su utilización consiste en ubicarlos en lugares estratégicos, de forma que puedan cumplir con su función eliminando aquellos componentes de ruido que no deseamos escuchar. Estos materiales atrapan ondas sonoras y posteriormente transforman la energía sonora en energía termodinámica o calor.

A la hora de seleccionar el material adecuado, de acuerdo a la aplicación requerida, debe tenerse en cuenta el coeficiente de absorción sonora del material en función de la frecuencia, dato que debe aportar el fabricante.

Barreras acústicas

Las barreras acústicas están concebidas para adaptarse a cualquier necesidad dado su carácter modular, que permite, además, una rápida instalación. Son la solución ideal para amortiguar ruido de equipos de climatización o maquinaria en campo abierto, por su bajo coste y buena eficiencia. Permiten reducir los niveles de ruido en zonas residenciales, urbanas e industriales gracias a la atenuación de la contaminación sonora procedente de carreteras, vías de tren o industrias.

Aislamientos

El aislamiento acústico se refiere al conjunto de materiales, técnicas y tecnologías desarrolladas para aislar o atenuar el nivel sonoro en un determinado espacio.

Hoy en día resulta imprescindible acondicionar y aislar los espacios de trabajo y las viviendas o locales para desarrollar una actividad confortable en ellos, siendo los tipos de materiales más utilizados los siguientes: poliuretano, geotextil, planchas asfálticas, lanas de roca o fibra de vidrio.

Mediante fijación mecánica, adhesiva o mixta es posible obtener un aislamiento acústico ideal para cualquiera de los tipos de materiales acústicos que se utilicen, evitando así los ruidos molestos.

Casetas sonoamortiguadas

Estas casetas permiten que maquinarias industriales emisoras de un alto nivel de ruido desempeñen su función bajo niveles de ruido tolerables. Pese a su gran capacidad de controlar niveles muy altos de ruido por medio del aislamiento de la fuente emisora del mismo son poco utilizadas en la industria.

Protección auditiva

Los equipos EPI de protección auditiva son uno de los métodos más eficientes y a la vez económicos. Tienen la capacidad de reducir el ruido en casi 20 dB, lo cual permite que la persona que los usa pueda ubicarse en ambientes muy ruidosos sin ningún problema. Son muy usados por los operarios y demás trabajadores de algunas industrias ruidosas.

3. LEGISLACIÓN

Para controlar y limitar los niveles de contaminación acústica se impulsaron una serie de medidas legislativas a nivel estatal, autonómico y local para regular las emisiones de ruido.

A continuación, se citan las leyes de protección frente a la contaminación acústica a nivel estatal y a nivel autonómico que se van a seguir en este estudio y los decretos posteriores que las desarrollan:

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica.
- Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de las edificaciones, obras y servicios.

3.1.LEGISLACIÓN ESTATAL

La Ley 37/2003, de 17 de noviembre del Ruido tiene por objeto la regulación de la contaminación acústica para evitar y, en su caso, reducir, los daños que pueda provocar en la salud humana, los bienes o el medio ambiente. Esta ley, esta complementada con los decretos Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre y Real Decreto 1367/2007 de 19 de octubre.

Para este proyecto seguiremos el Real Decreto 1367/2007 que tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/ 2003 de 17 de noviembre del Ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Se aplicarán los índices de ruido Ld (7.00- 19.00 H), Le (19.00-23.00 H) y Ln (23.00-7.00 H) tal como se definen en el Anexo I siendo estos los valores horarios de comienzo y fin de los distintos períodos.

Las áreas acústicas se clasificarán, en atención al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas.

Los índices acústicos que marcan los objetivos de calidad acústica definidos en el Anexo II del Real Decreto 1367/2007 serán los siguientes:

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

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

(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

(2) En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas acústicas colindantes con ellos.

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

Uso del edificio	Tipo de recinto	Índices de ruido		
		L _d (dBA)	L _e (dBA)	L _n (dBA)
Vivienda o uso residencia	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

Tabla 2. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales (1)

(1) Los valores de la tabla B, se refieren a los valores del índice de inmisión resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto (instalaciones del propio edificio, actividades que se desarrollan en el propio edificio o colindantes, ruido ambiental transmitido al interior).

Nota: Los objetivos de calidad aplicables en el espacio interior están referenciados a una altura entre 1,2 m y 1,5 m.

3.2.LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

La contaminación acústica se ha convertido en uno de los problemas medioambientales más importantes en la actualidad y, en particular, en la Comunidad Valenciana. Los estudios realizados indican la existencia de unos niveles de ruido por encima de los límites máximos admisibles por organismos internacionales y por la Unión Europea.

La Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica tiene por objeto prevenir, vigilar y corregir la contaminación acústica en el ámbito de la Comunidad Valenciana para proteger la salud de sus ciudadanos y mejorar la calidad de su medio ambiente.

La presente ley se aplicará en la Comunidad Valenciana a las actividades, comportamientos, instalaciones, medios de transporte y máquinas que en su funcionamiento, uso o ejercicio produzcan ruidos o vibraciones que puedan causar molestias a las personas, generar riesgos para su salud o bienestar o deteriorar la calidad del medio ambiente.

Asimismo, quedan sometidos a las prescripciones establecidas en la presente ley todos los elementos constructivos y ornamentales en tanto contribuyan a la transmisión de ruidos y vibraciones producidos en su entorno.

Para este proyecto vamos a seguir el Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, que tiene por objeto establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat, de Protección Contra la Contaminación Acústica, estableciendo los mecanismos de control del ruido originado en actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios, así como las limitaciones y procedimientos de evaluación.

Los niveles de emisión sonora vienen limitados por los niveles de recepción sonora establecidos en el anexo II de la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat, de Protección Contra la Contaminación Acústica. El nivel de evaluación se determinará para cada actividad molesta por ruido en función del periodo en que se desarrolle la misma. A tal efecto, se entenderá por periodo diurno y nocturno los siguientes:

- **Diurno:** período que comprende desde las 8 horas hasta las 22 horas.
- **Nocturno:** período que comprende desde las 22 horas hasta las 8 horas.

La evaluación del nivel sonoro se realizará en función de la finalidad de la medición, según se quiera medir niveles de recepción internos o externos y dependiendo de la localización y tipo de la fuente de emisión sonora, de acuerdo con lo establecido en los anexos del presente decreto.

Los índices acústicos que marcan los objetivos de calidad acústica definidos en el Anexo II serán los siguientes:

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

Tabla 3. Niveles de recepción externos

Uso dominante	Locales	Nivel sonoro dB(A)	
		Día	Noche
Sanitario	Zonas comunes	50	40
	Estancias	45	30
	Dormitorios	30	25
Residencial	Piezas habitables (excepto cocinas)	40	30
	Pasillos, aseos, cocina	45	35
	Zonas comunes edificio	50	40
Docente	Aulas	40	30
	Salas de lectura	35	30
Cultural	Salas de conciertos	30	30
	Bibliotecas	35	35
	Museos	40	40
	Exposiciones	40	40
Recreativo	Cines	30	30
	Teatros	30	30
	Bingos y salas de juego	40	40
	Hostelería	45	45
Comercial	Bares y establecimientos comerciales	45	45
Administrativo y oficinas	Despachos profesionales	40	40
	Oficinas	45	45

Tabla 4. Niveles de recepción internos

4. ESTUDIO Y REALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS IN SITU

4.1. METODOLOGÍA

En primer lugar, se analizará el entorno (identificando las principales fuentes de ruido) y se elegirán un número mínimo de puntos donde se llevarán a realizar las medidas en los lugares más conflictivos o que pueden resultar más sensibles al ruido. Una vez definidos estos puntos determinaremos la franja horaria en la que realizaremos las medidas.

Se procederá a realizar tres medidas diferentes para cada uno de los puntos de medida elegidos que se realizarán en días diferentes y en diferentes franjas horarias para así conseguir que dichas medidas sean lo más representativas posibles. Se enumerarán los puntos y se seguirá el mismo orden de medida para cada uno de los días en los que se realicen las medidas. Finalmente, se calculará la media logarítmica de cada uno de los puntos y ese dato será el que utilizaremos para después comprobar el cumplimiento de la normativa especificada.

En este proyecto se ha decidido establecer un total de 15 puntos de medida en los que se estudiará el horario diurno, es decir, la franja horaria que va de las 8:00 am a las 22:00 pm. El estudio del horario nocturno que sería de 22:00 pm a 8:00 am se completará mediante una simulación empleando los datos registrados en el horario diurno.

Para las medidas se establece un tiempo de duración de 10 minutos en el que se anotarán las condiciones meteorológicas y el caudal de tráfico tanto de vehículos ligeros como pesados para cada uno de los puntos. Estos datos nos servirán para posteriormente realizar una predicción acústica con el programa Predictor y pasar a comparar los resultados simulados y medidos.

Una vez determinada la franja horaria en la que realizaremos las medidas y el tiempo de duración ya se puede iniciar el proceso de medición. El procedimiento a seguir será el marcado por el Real Decreto 1367/2007 que desarrolla la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana.

Si durante la realización de alguna medición hubiera cualquier incidencia leve, ésta debe ser anotada y en caso de dificultar gravemente la medida se anulará y se esperará a que se solucione el posible problema para realizar una nueva medida.

4.2. PROCEDIMIENTO REALIZADO EN LAS MEDIDAS

Para realizar las medidas siguiendo la normativa del Real Decreto 1367/2007 que desarrolla la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana se han seguido las siguientes pautas:

- Se utilizará un sonómetro de tipo 1 y se calibrará antes y después de cada día de medición ayudándonos de un calibrador tipo 1.
- La zona donde se van a realizar las medidas debe estar libre de superficies y objetos reflectantes. Con esta medida se evita que los niveles medidos sean anormalmente elevados debido a las reflexiones del sonido.
- El sonómetro se ubicará a una distancia como mínimo de 1.5 m del suelo y alejado de la fachada más próxima un mínimo de 2 metros.
- El micrófono del sonómetro debe orientarse hacia el foco del sonido que vamos a medir con un ángulo de inclinación de aproximadamente 45 grados.
- Para un óptimo funcionamiento del sonómetro se colocará sobre un trípode para así garantizar estabilidad durante todo el tiempo de medida y que la posición del sonómetro no varíe.
- Se anota la temperatura, la velocidad del viento, la presión atmosférica y la humedad relativa en cada medición realizada se comprobarán siempre que los resultados recogidos estén dentro de los parámetros establecidos para que la medición sea válida. Si las condiciones climatológicas son desfavorables no se realizarán las medidas.
- Se documenta el número total de vehículos ligeros y pesados, además de las características de la vía. Se van a considerar vehículos pesados aquellos que superen los 3.500 kg de peso.
- Para las mediciones realizadas en exterior se empleará obligatoriamente una pantalla antiviento para minimizar el efecto del viento, controlando que la velocidad no supere los 3.5 m/s, en cuyo caso las mediciones no serían válidas.

4.3. INSTRUMENTACIÓN EMPLEADA

La instrumentación empleada para realizar el estudio de la contaminación acústica producida sobre el hospital Francesc de Borja de Gandia ha sido la siguiente:

- Sonómetro Bruel & Kjaer. Modelo 2250 Light.
- Micrófono polarizado ½" Brüel & Kjaer, tipo 4950.
- Preamplificador de micrófono ZC-0032 Bruel & Kjaer.
- Calibrador de tipo 1 de Bruel & Kjaer de 94 dB a 1kHz, modelo 4231.
- Anemómetro Testo 410-2.
- Pantalla antiviento Brüel & Kjaer.
- Trípode.
- BZ5503-Measurement Partner Suite B&K.

Sonómetro 2250 Light

- Es un instrumento de medida que se emplea para medir niveles de presión sonora.
- La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio.
- Emplea una escala de ponderación A, que deja pasar sólo las frecuencias a las que el oído humano es más sensible.
- El modelo empleado ha sido desarrollado específicamente para medir ruido ocupacional, ambiental y de producto.

Según su tipología existen tres tipos de sonómetros:

- Clase 0: Empleado en los laboratorios para la obtención de niveles de referencia.
- Clase 1: Utilizado para el trabajo de campo con precisión.
- Clase 2: Empleado para la toma de medidas generales en los trabajos de campo.

Existen cuatro velocidades para establecer la ponderación temporal del sonómetro:

- Lento ("S", slow): El valor es aproximadamente de un segundo.
- Rápido ("F", fast): El valor es de 125 milisegundos.
- Impulso ("I", impulse): El valor es de 35 milisegundos.
- Pico ("P", peak): El valor es de entre 50 y 100 milisegundos.

La configuración del sonómetro para este proyecto ha sido la siguiente:

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

Micrófono polarizado tipo 4950 y preamplificador de micrófono ZC-0032

- Tipo: Micrófono de condensador prepolarizado de campo libre de ½ ”.
- Sensibilidad nominal de circuito abierto: 50 mV/Pa (correspondiente a -26 dB re 1 V/Pa) ± 2 dB.
- Capacitancia: 12,5 pF (a 250 Hz)
- Atenuación nominal del preamplificador: 0,3 dB.

Calibrador modelo 4231

- Se trata de un calibrador muy robusto y estable, conforme con las normas EN/CEI 60942 Clase LS y Clase 1, y ANSI S1.40-1984.
- Se emplea para calibrar antes de cada medida y compensar rápidamente las condiciones de medida locales. De este modo, se obtienen resultados con una fiabilidad máxima. El empleo de niveles duales de presión sonora es una garantía de verificaciones concluyentes y garantiza a la linealidad de los micrófonos.

Anemómetro Testo 410-2

- Diseñado para medir la velocidad del aire, la temperatura del aire y la humedad.
- Dispone de una paleta giratoria integrada de 40mm que calcula la velocidad del viento que pasa a través del impulsor.
- Con un rango de medición de 0,4 a 20 m/s, el anemómetro 410-2 se puede utilizar incluso para velocidades de flujo bajas.
- Está equipado con un sensor de humedad y un sensor de temperatura NTC con un rango de medida de -10 a + 50 °C.
- También muestra humedad, humedad relativa, bulbo húmedo y temperatura de punto de rocío.
- Adecuado para aplicaciones de medición en interiores y exteriores.

BZ5503-Measurement Partner Suite B&K

Para extraer los datos de las mediciones se conecta el sonómetro al ordenador, y con la ayuda del software BZ 5503 - Measurement Partner Suite B&K. Éste permite extraer todas las mediciones que tiene el sonómetro guardado presentándolas en una hoja de Excel.

A continuación, se muestran imágenes más detalladas de toda la instrumentación empleada para esta medición:



Sonómetro Bruel & Kjaer. Modelo 2250 Light y pantalla antiviento



Anemómetro Testo 410-2



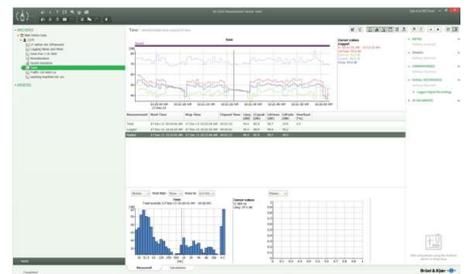
Calibrador modelo 4231



Micrófono polarizado tipo 4950 y preamplificador de micrófono ZC-0032.



Trípode



Software BZ 5503

Ilustración 5. Instrumentación empleada para realizar las mediciones

5. ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA

Al realizar un proyecto para evaluar la contaminación acústica que se produce sobre una determinada infraestructura en primer lugar se debe llevar a cabo un estudio previo del entorno de la actividad sobre la que vamos a realizar el proyecto, así se podrá identificar los principales focos de ruido y situar los puntos de medida en los lugares más sensibles. En este caso se estudiará el entorno del hospital Francesc de Borja.

Una vez que disponemos de la información suficiente se procede a la elección del número de puntos que vamos a estudiar y su localización. Para este estudio se van a realizar medidas en 15 puntos repartidos por el entorno del hospital, siempre teniendo en cuenta los focos de ruido que más pueden afectarnos. Principalmente el estudio se ha centrado en recoger el nivel sonoro de las carreteras más próximas, ya que para este caso son el principal foco de ruido al ser zonas muy transitadas.

En la figura 6 se muestra la localización exacta de los 15 puntos (de color rojo) en los que se han realizado las medidas acústicas:



Ilustración 6. Imagen satélite de los alrededores del Hospital Francesc de Borja (Gandia) Fuente Google Maps

A continuación, se muestran fotografías en detalle de cada uno de los puntos de medida elegidos y sus respectivas localizaciones:

PUNTO 1



Ilustración 7. Medida punto 1

Punto situado en el Parking Avinguda de la Medicina. El motivo de realizar la medida en este punto es captar el nivel sonoro a la entrada principal del hospital.

PUNTO 2



Ilustración 8. Medida punto 2

Punto situado en el Parking Avinguda de la Medicina. El motivo de realizar la medida en este punto es captar el nivel sonoro a la entrada principal del hospital.

PUNTO 3



Ilustración 9. Medida punto 3

Punto situado en el Parking Avinguda de la Medicina. El motivo de realizar la medida en este punto es captar el nivel sonoro a la entrada principal del hospital.

PUNTO 4



Ilustración 10. Medida punto 4

Punto situado en Carrer Tomás Mut. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en una de las calles laterales del hospital.

PUNTO 5



Ilustración 11. Medida punto 5

Punto situado en un tramo de la carretera N-337. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en la autovía próxima al hospital.

Con este punto comprobaremos la eficacia de las pantallas acústicas colocadas para reducir el nivel sonoro producido por la autovía.

PUNTO 6



Ilustración 12. Medida punto 6

Punto situado en un tramo de la carretera N-337. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en la autovía próxima al hospital.

PUNTO 7



Ilustración 13. Medida punto 7

Punto situado en la parte de detrás de urgencias del hospital. Con este punto comprobaremos la eficacia del muro de tierra levantado para reducir el nivel sonoro producido por la carretera N-337.

PUNTO 8



Ilustración 14. Medida punto 8

Punto situado en Calle Ferrocarril de Denia, Polígono 10. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en una de las calles más próximas al hospital.

PUNTO 9



Ilustración 15. Medida punto 9

Punto situado en un tramo de la carretera N-337. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en la autovía próxima al hospital.

PUNTO 10



Ilustración 16. Medida punto 10

Punto situado en Avenida d'Alacant. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en una de las calles más próximas al hospital.

PUNTO 11



Ilustración 17. Medida punto 11

Punto situado en Avenida d'Alacant. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en una de las calles más próximas al hospital.

PUNTO 12



Ilustración 18. Medida punto 12

Punto situado en Avenida d'Alacant. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en una de las calles más próximas al hospital.

PUNTO 13



Ilustración 19. Medida punto 13

Punto situado en Avinguda de la Medicina. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en la calle principal de acceso al hospital.

PUNTO 14



Ilustración 20. Medida punto 14

Punto situado en Avinguda de la Vital. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en una de las calles más próximas al hospital.

PUNTO 15



Ilustración 21. Medida punto 15

Punto situado en Camí Torre dels Pares. Captaremos el nivel sonoro y el caudal de vehículos en una de las calles más próximas al hospital.

6. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS IN SITU

6.1. CAUDAL DE VEHÍCULOS

Según marca la norma ISO 1996/2 durante los 10 minutos que dura la medición en cada uno de los puntos elegidos se va a realizar un recuento del total de vehículos que circulan por esa vía, tanto ligeros como pesados.

Como vamos a realizar tres medidas en total en diferentes días para cada uno de los puntos elegidos, necesitaremos calcular el promedio del total de vehículos que circulan por cada una de las vías. Una vez lo tengamos multiplicaremos el resultado por 6 para obtener el caudal de tráfico durante una hora.

A continuación, se muestra una tabla en la que podemos observar el resultado del tráfico en cada punto de medición:

Puntos	Caudal vehículos/hora	
	Ligeros	Pesados
1	96	0
2	104	0
3	108	0
4	342	0
5	552	36
6	564	30
7	62	0
8	84	0
9	558	24
10	942	42
11	954	42
12	1014	48
13	372	0
14	1188	48
15	260	0

Tabla 5. Caudal de vehículos

6.2. NIVEL SONORO EQUIVALENTE

A continuación, se muestra una tabla se muestran los resultados de los niveles sonoros equivalentes $L_{Aeq}(dBA)$ obtenidos al realizar las medidas en cada uno de los puntos elegidos, así como el cálculo del promedio de las tres medidas en cada punto.

Para el cálculo del promedio logarítmico se usa la siguiente fórmula:

$$L_D = 10 \log \left[\frac{10^{\frac{L_{Aeq_1}}{10}} + 10^{\frac{L_{Aeq_2}}{10}} + 10^{\frac{L_{Aeq_3}}{10}}}{3} \right]$$

Puntos de medida	L_{Aeq} día 1 (dBA)	L_{Aeq} día 2 (dBA)	L_{Aeq} día 3 (dBA)	L_{Aeq} promedio (dBA)
1	51,23	50,68	54,33	52,4
2	50,82	51,71	54,77	52,8
3	54,52	49,47	54,63	53,4
4	64,64	58,79	63,35	62,9
5	49,47	48,24	49,72	49,2
6	53,36	54,6	55,88	54,7
7	50,31	51,24	50,73	50,8
8	47,23	46,94	48,23	47,5
9	52,42	54,98	53,01	53,6
10	62,99	63,22	61,37	62,6
11	59,48	61,71	62,98	61,6
12	67,65	69,65	68,28	68,6
13	57,54	59,23	56,62	57,9
14	61,83	65,45	64,06	64,0
15	55,33	58,13	58,02	57,3

Tabla 6. Resultados obtenidos en las muestras medidas con el sonómetro y su promedio

7. CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDIDAS

El concepto de incertidumbre asociada a una medida es relativamente moderno ya que siempre se había utilizado de forma incorrecta el concepto de “error de las medidas”. Es importante remarcar la diferencia entre estos dos conceptos ya que el error sería la diferencia entre el valor que hemos medido y el valor verdadero (que en general es desconocido) que se toma como el valor medio de una serie de medidas, mientras que la incertidumbre es una cuantificación (una cota superior) de la duda sobre el resultado de la medida. Es posible obtener la incertidumbre de una magnitud (mensurando) y mediante un procedimiento que tenga en cuenta los valores y las incertidumbres asociadas a las variables que intervienen en una fórmula conocida. Por todo ello es necesario establecer un metodología fácilmente comprensible y aceptado universalmente de forma que cualquier persona que emplee dichos resultados pueda aplicarlo.

La expresión del resultado de una medición sólo estará completa cuando contenga tanto el valor atribuido a la medida como la incertidumbre de medida asociada a dicho valor, de lo contrario los resultados no podrán compararse entre sí ni tampoco compararse con los valores de referencia que establece la normativa.

Cualquier medición en Acústica Ambiental que se realice tiene una incertidumbre asociada debido a diversos factores:

- Incertidumbre debido a la instrumentación empleada.
- Incertidumbre debida a las condiciones de operación.
- Incertidumbre según el clima y el suelo.
- Incertidumbre debido al sonido residual.

Una vez calculada cada una de las incertidumbres anteriores la incertidumbre total de la medida se expresa como una incertidumbre expandida basada en una combinación de incertidumbres estándar multiplicada por un factor de cobertura de 2, proporcionando una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Primero obtendremos la incertidumbre típica combinada empleando la fórmula que se muestra a continuación y la multiplicaremos por un factor de 2 para obtener la incertidumbre expandida:

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

Incertidumbre típica(dB)				Incertidumbre estándar combinada σ_t (dB)	Incertidumbre de la medida expandida(dB)
Debido a la instrumentación	Debido a las condiciones de funcionamiento	Debido a las condiciones meteorológicas y de suelo	Debido al sonido residual		
W	X	Y	Z	$\sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2 \sigma_t$

Tabla 7. Incertidumbre de la medida del L_{Aeq} según la ISO 1996-2.

7.1. INCERTIDUMBRE DEBIDA A LA INSTRUMENTACIÓN

La incertidumbre debida a la instrumentación debe tenerse muy en cuenta debido a ser una de las incertidumbres más influyentes. Representa pequeñas desviaciones que puede producir la instrumentación empleada para la medición debido al correcto funcionamiento del equipo y su calibración.

Se obtiene realizando la siguiente fórmula:

$$W(dB) = u_{PFE} + u_{PFA} + u_{LS} + u_{RMS} + u_{PT} + u_{CA} + u_{CC} + u_{ES} + u_{TS} + u_{PS}$$

Para ello, primero debemos calcular todos los elementos de la ecuación:

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

$$u_{PFE} = \frac{U_E}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB}$$

U_E : incertidumbre expandida certificada

K_n : probabilidad de encontrar un valor verdadero de la magnitud en el intervalo señalado por la incertidumbre ampliada del 95.45% de la componente de incertidumbre estándar.

- u_{PFA} representa la corrección de calibración acústica del nivel de presión sonora con ponderación A.

$$u_{PFA} = \frac{U_E}{K_n} = \frac{\pm 0.15}{2} = \pm 0.075 \text{ dB}$$

U_E : incertidumbre expandida certificada

K_n : probabilidad de encontrar un valor verdadero de la magnitud en el intervalo señalado por la incertidumbre ampliada del 95.45% de la componente de incertidumbre estándar.

Como podemos comprobar el cálculo y las variables de la corrección de calibración eléctrica del nivel de presión sonora y la corrección de calibración acústica del nivel de presión sonora (u_{PFE} y u_{PFA}) es exactamente el mismo.

- u_{LS} representa la corrección asociada con la linealidad del sonómetro en su rango de referencia.

$$u_{LS} = \sigma_L = 0.011 \text{ dB}$$

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

$$u_{RMS} = \sigma_R = 0.055 \text{ dB}$$

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

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

Δ_{PT} : máxima de las desviaciones de las constantes temporales.

En este caso empleamos la corrección en modo Slow, que es la más restrictiva.

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

$$u_{CA} = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 \text{ dB}$$

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

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

$$u_{CC} = \frac{U_C}{K_n} = \frac{0.11}{2} = 0.055 \text{ dB}$$

U_C : incertidumbre expandida de uso del calibrador.

- u_{ES} representa la corrección asociada a la resolución finita del valor de la indicación del sonómetro.

$$u_{ES} = \frac{E_S}{2\sqrt{3}} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.0289 \text{ dB}$$

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

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

$$u_{TS} = \frac{\alpha_m \cdot \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{0.015 (23^\circ\text{C} - T_M)}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ dB}$$

α_m : coeficiente de variación con la temperatura.

T_M : temperatura en grados Celsius en el momento de la medición.

- u_{PS} representa la corrección asociada con la influencia de las variaciones de la presión atmosférica.

$$u_{PS} = \frac{\gamma_M \cdot \Delta P}{\sqrt{3}} = \frac{0.019 (1013 \text{ hPa} - P_M)}{\sqrt{3}} = 0.04 \text{ dB}$$

γ_M : coeficiente de variación de la presión ponderado en frecuencia.

P_M : presión atmosférica en el momento de la medición.

Una vez hemos hecho los cálculos necesarios para obtener todos los elementos de la ecuación procederemos a realizar la suma de todos ellos para conocer la incertidumbre debida a la instrumentación utilizada.

$$W(\text{dB}) = u_{PFE} + u_{PFA} + u_{LS} + u_{RMS} + u_{PT} + u_{CA} + u_{CC} + u_{ES} + u_{TS} + u_{PS} = 0.7 \text{ dB}$$

7.2. INCERTIDUMBRE DEBIDA A LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

Se han realizado un mínimo de tres medidas en cada uno de los puntos escogidos, siempre respetando el mismo procedimiento de medida, los mismos equipos e instrumentación y colocando el sonómetro siempre en la misma posición de medida. Estas condiciones se han cumplido durante la realización de todo el proyecto.

A continuación, calculamos la incertidumbre estándar X para tráfico rodado empleando la siguiente fórmula:

$$X = \frac{10}{\sqrt{n}} \text{ (dB)}$$

n: número total de vehículos que circulan en una hora

Al aplicar la fórmula anterior se obtienen las siguientes incertidumbres debidas a las condiciones de operación para cada uno de los puntos evaluados:

Puntos de medida	<i>n</i> vehículos/hora	X
1	96	1,02
2	104	0,98
3	108	0,96
4	342	0,54
5	588	0,41
6	594	0,41
7	62	1,27
8	84	1,09
9	582	0,41
10	984	0,32
11	996	0,32
12	1062	0,31
13	372	0,52
14	1236	0,28
15	260	0,62

Tabla 8. Incertidumbre debida a las condiciones de operación

7.3. INCERTIDUMBRE SEGÚN EL CLIMA Y EL SUELO

La incertidumbre según el clima y el suelo depende del tipo de terreno en que se realicen las medidas, de las condiciones meteorológicas que haya en ese momento de la medición y de la distancia existente entre la fuente a medir y el receptor; que en este caso será donde se posicione el sonómetro.

En la siguiente ilustración se muestran los valores de los coeficientes de incertidumbre según el clima y el suelo según la norma UNE ISO 1996-2.

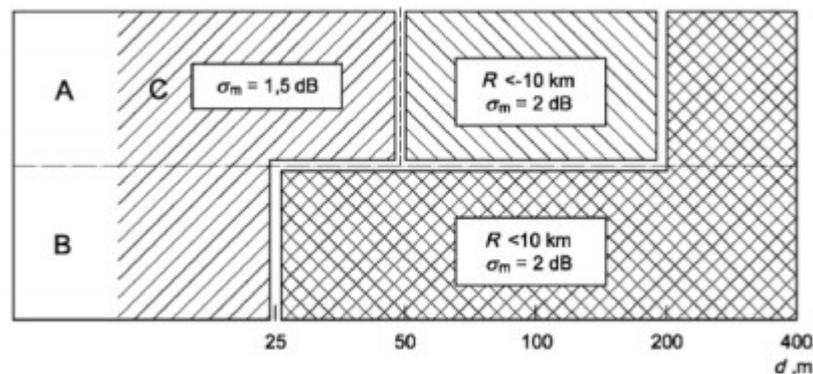


Ilustración 22. Incertidumbre debida al clima y al suelo

Se presentan tres situaciones en la práctica:

- Situación alta A:
 - La altura del receptor y la de la fuente es igual o mayor que 1,5 m:

$$hs \geq 1,5 \text{ m y } hr \geq 1,5 \text{ m}$$
 - La altura de la fuente es menor de 1,5 m y la altura del receptor de 4 o más metros:

$$hs < 1,5 \text{ m y } hr \geq 4 \text{ m}$$
- Situación baja B:
 - La fuente se encuentra a menos de 1,5 m de altura y el receptor a una distancia menor o igual de 1,5 m:

$$hs < 1,5 \text{ m y } hr \leq 1,5 \text{ m}$$
- Situación C sin restricciones

En este estudio, el tipo de terreno sobre el que se realizan las medidas es duro y bastante regular y la distancia efectiva entre la fuente y receptor es menor a 25 metros por lo que se estima un valor de incertidumbre de 0.5 dB en todos los puntos.

7.4. INCERTIDUMBRE DEBIDO AL SONIDO RESIDUAL

La incertidumbre debido al sonido residual varía dependiendo de la diferencia que exista entre los valores recogidos de fondo y los valores medidos. Debido a que no se han realizado las mediciones de ruido de fondo necesarias para cada uno de los puntos elegidos se estimarán estos niveles a partir de unos cálculos realizados empleando el percentil más alto de las medidas, que en este caso será L_{A99} , y se tomará como nivel de ruido residual.

En primer lugar, se comprobará si es necesario realizar la corrección para cada uno de los puntos medidos comprobando la diferencia que existe entre el nivel de presión sonora residual y nivel de presión sonora medido. Así pues, esta corrección se aplicará siguiendo las siguientes condiciones:

- Cuando el nivel de presión sonora medido supere en más de 10 dB al nivel de presión sonora residual no se aplicará la corrección.
- Cuando el nivel de presión sonora medido no supere en más de 3 dB al nivel de presión sonora residual no se aplicará la corrección.
- Si la diferencia entre el nivel de presión sonora medido y el nivel de presión sonora residual oscila entre 3 dB y 10 dB se aplicará la corrección mediante la siguiente fórmula:

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

L_c : nivel de presión sonora medida corregida.

L_m : nivel de presión sonora medida.

L_r : nivel de presión sonora residual.

A continuación, se procederá a realizar el cálculo del coeficiente de la sensibilidad del sonido residual:

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

C_r : nivel de sensibilidad residual.

L_r : nivel de presión sonora residual.

L_t : nivel de presión sonora total.

Se determinará la incertidumbre del nivel sonoro residual, que se calcula en función de la incertidumbre del nivel sonoro específico y el nivel total medido actual:

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

Z_r : nivel de presión sonora residual.

σ_s : incertidumbre del nivel sonoro específico.

σ_o : incertidumbre del nivel sonoro total medido actual.

Por último, se define el valor de incertidumbre de nivel sonoro residual como la combinación del nivel de sensibilidad residual y el nivel de sonido residual, por lo que la incertidumbre responde a la siguiente ecuación:

$$Z(dBA) = C_r \cdot Z_r$$

Z : incertidumbre de nivel sonoro residual.

C_r : nivel de sensibilidad residual.

Z_r : nivel de presión sonora residual.

Puntos	C_r (dB)	Z_r (dB)	$C_r \cdot Z_r$ (dB)
1	0,18	0,67	0,12
2	0,57	0,60	0,34
3	0,22	0,65	0,14
4	0,02	0	0
5	0,29	0,40	0,12
6	0,04	0	0
7	0,53	0,32	0,17
8	0,20	0,64	0,13
9	0,08	0	0
10	0,07	0	0
11	0,10	0,98	0,1
12	0,04	0	0
13	0,10	1,09	0,11
14	0,06	0	0
15	0,06	0	0

Tabla 9. Incertidumbre debida al sonido residual

7.5. INCERTIDUMBRE ESTANDAR COMBINADA Y EXPANDIDA

Una vez ya están calculadas todas las incertidumbres parciales influyentes se procede a calcular la incertidumbre típica combinada y la incertidumbre típica expandida.

- Para calcular la incertidumbre típica combinada se emplea la siguiente expresión:

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

- Para calcular la incertidumbre típica expandida se multiplica la incertidumbre típica combinada por un factor 2 como se muestra a continuación:

$$\pm 2 \sigma_t$$

Puntos	$\sigma_t(dB)$	$\pm 2 \sigma_t(dB)$
1	1,34	2,68
2	1,35	2,7
3	1,30	2,6
4	1,02	2,04
5	0,96	1,92
6	0,95	1,9
7	1,54	3,08
8	1,39	2,78
9	0,95	1,9
10	0,92	1,84
11	0,92	1,84
12	0,91	1,82
13	1,01	2,02
14	0,90	1,8
15	1,06	2,12

Tabla 10. Incertidumbre combinada y expandida

7.6. INCERTIDUMBRE TOTAL EN CADA PUNTO

Finalmente realizamos una tabla con los niveles recogidos en cada uno de los puntos medidos junto a la incertidumbre típica expandida correspondiente para cada uno de ellos.

Puntos	LAeq (dBA)
1	52,4 ± 2,7
2	52,8 ± 2,7
3	53,4 ± 2,6
4	62,9 ± 2,0
5	49,2 ± 1,9
6	54,7 ± 1,9
7	50,8 ± 3,1
8	47,5 ± 2,8
9	53,6 ± 1,9
10	62,6 ± 1,8
11	61,6 ± 1,8
12	68,6 ± 1,8
13	57,9 ± 2,0
14	64,0 ± 1,8
15	57,3 ± 2,1

Tabla 11. Niveles de ruido con incertidumbre asociada

Como se puede observar en los puntos 1,2,3,7 y 8 la incertidumbre total es más elevada que en el resto de los puntos. Esto se debe a que el tráfico en dichos puntos presenta unas cifras muy bajas ya que son accesos al Hospital Francesc de Borja y por tanto el volumen de tráfico es bastante reducido.

8. SIMULACIÓN

Para la realización de la simulación se utilizará el software Predictor V2019.3 de Bruel&Kjaer que nos representará un modelo a escala de la zona a estudio. Este programa nos va a permitir predecir los niveles de presión sonora en la zona en la que vamos a realizar el estudio acústico ofreciéndonos una muy buena funcionalidad para la gestión y planificación del ruido. Una vez obtengamos estos niveles los compararemos con los obtenidos en las medidas in situ.

Predictor nos ofrece la opción de diseñar distintos modelos en los que podremos diseñar el entorno en el que hemos realizado las medidas añadiendo todos los edificios, carreteras, parques... necesarios para que el estudio acústico sea lo más representativo posible. También nos permitirá añadir a posteriori las medidas correctoras necesarias para reducir los niveles sonoros excesivos, como pueden ser barreras acústicas u otros elementos constructivos.

Este software funciona calculando los diferentes niveles de ruido localizados en las distintas fuentes sonoras y los diferentes niveles de tráfico de las vías de circulación que afecten al entorno que estamos midiendo. Para ello tiene en cuenta factores como la altura de los edificios, el tipo de suelo en el que nos encontramos y los posibles obstáculos que encontremos a nuestro alrededor. Por supuesto Predictor nos da la opción de seleccionar las diferentes normativas tanto nacionales como internacionales sobre las que queremos trabajar.

8.1. NORMAS DE PREDICCIÓN

La versión de Predictor que vamos a emplear nos permite trabajar con diferentes normas y métodos de predicción del nivel de presión sonora. Una vez los conocemos elegiremos el más conveniente para nuestro caso específico:

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

Según la Ley estatal de ruido 37/2003 y su correspondiente Real Decreto 1513/2005, se indica que el método recomendado para la predicción es el método XPS/NMPB (Método francés de ruido de tráfico).

8.2.INTRODUCCIÓN DE DATOS EN EL PREDICTOR

Lo primero que necesitaremos para empezar la simulación en el programa Predictor es un plano de la zona a estudiar, el cual importaremos desde Google Maps como una imagen recortada en formato png. Aunque para la simulación empleada en este proyecto se ha elegido este formato se puede importar desde una gran variedad de diferentes formatos (.bmp, .jpg, .wmf, .gif, .tif, .tga, .psp, .ppm, .pcx, .dbv, .shp, .mif, .DXF, .DWG).

Una vez ya tenemos la imagen de la zona a estudio de fondo podemos introducir encima de cada elemento el objeto que le corresponda junto a sus diferentes características como pueden ser la altura, índice de absorción o caudal de vehículos y velocidad máxima permitida en el caso de las carreteras. A continuación, se explica más detalladamente la introducción de los objetos y sus distintos parámetros:

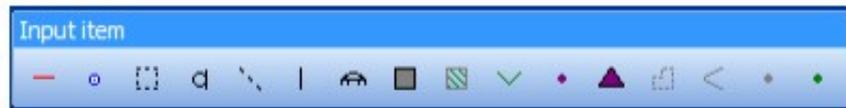


Ilustración 22. Barra de herramientas empleada para introducir los diferentes objetos.

- Edificios: Los insertaremos en el mapa empleando la herramienta "Building" con la que estableceremos su contorno y la altura de cada uno de ellos.
- Ground región: En la absorción acústica del terreno podemos distinguir dos tipos de suelo:
 - Suelo reflectante con un factor de absorción del suelo de $G=0$ (Zonas urbanas).
 - Suelo absorbente con un factor de absorción del suelo de $G=1$ (Zonas verdes).
- Carreteras: Las trazaremos con la herramienta "Road", en la que se nos permitirá introducir el caudal de vehículos por hora en los diferentes períodos del día y la velocidad máxima permitida para cada uno de los tramos de carretera.
- Barreras acústicas: Con la ayuda de la herramienta "Barrier" añadiremos dos barreras acústicas que están situadas entre el Hospital y la carretera N-337.
- Receptores: Colocaremos receptores en todos los lugares en los que hayamos realizado medidas a la misma altura que estaba el sonómetro en las medidas in situ (1,5 m).
- Malla: Una vez ya tenemos todos los elementos situados en el mapa acotaremos la zona en la que se va a realizar la simulación mediante el dibujo de una rejilla (Grid).

Después de haber realizado todos los pasos anteriormente citados el modelo creado para la simulación es el siguiente:



Ilustración 23. Mapa de fondo donde se han añadido los objetos. Fuente Google Maps

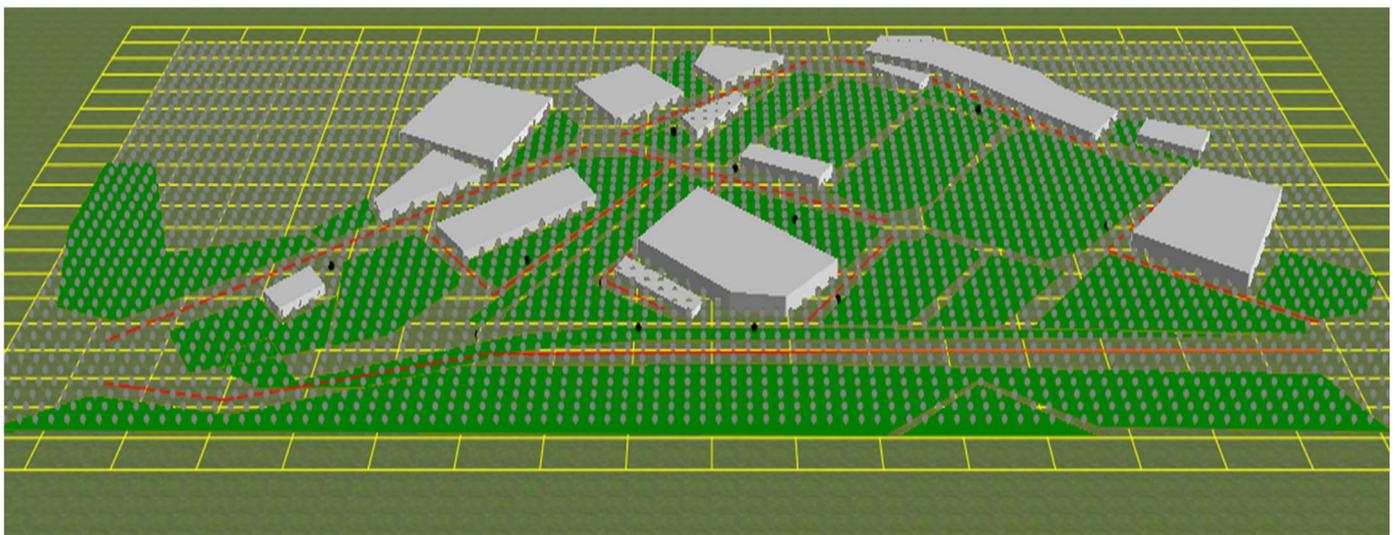


Ilustración 24. Mapa 3D, comprobación visual de la altura de los edificios. Fuente Google Maps.

8.3.RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez finalizada la simulación se obtiene como resultado los siguientes mapas de colores con los niveles de ruido para cada uno de los períodos, primero el mapa con los niveles para el período diurno y después el período nocturno. Además, se puede observar una leyenda que nos informa del valor de nivel sonoro al que equivale cada color en el mapa.



Ilustración 25. Mapa de colores según los niveles sonoros en el período diurno. Fuente Google Maps.



Ilustración 26. Mapa de colores según los niveles sonoros en el período nocturno. Fuente Google Maps.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el momento que se han obtenido todos los datos necesarios tanto en las mediciones in situ como en la simulación realizada con el programa Predictor se procederá a comparar todos los resultados.

9.1.COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Lo primero que se debe comprobar es que la diferencia entre los niveles de ruido obtenidos en las mediciones y los niveles de ruido obtenidos en la simulación no se diferencian en más de 3 dB para demostrar que los resultados son coherentes y permite validar nuestro modelo.

A continuación, se puede observar la diferencia para cada punto.

Puntos	Medidas in situ (dBA)	Simulación (dBA)	Diferencia (dBA)
1	52,39	54,03	1,64
2	52,78	54,69	1,91
3	53,44	54,98	1,54
4	62,89	61,11	1,78
5	49,19	52,14	2,95
6	54,73	51,85	2,8
7	50,78	53,68	2,9
8	47,50	54,53	7,03
9	53,61	56,35	2,74
10	62,60	60,93	1,67
11	61,62	62,83	1,21
12	68,61	67,06	1,55
13	57,93	56,26	1,67
14	64,02	66,69	2,67
15	57,34	57,12	0,22

Tabla 11. Resultados entre medidas in situ y simuladas

En la tabla de comparativas entre la simulación y las medidas realizadas in situ podemos observar que en todos los puntos se respeta la diferencia de 3 dBA exceptuando el punto número 7. Esto es debido a que la zona en la que se ha medido dicho punto es una zona muy tranquila con muy poco tráfico, de hecho, podemos observar que en ese punto el valor medido con el sonómetro cae notablemente respecto a los puntos más cercanos superando los 6 dBA de diferencia, mientras que en la simulación apenas llega a 2 dBA.

9.2.CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA

En la siguiente tabla se comprueba si los niveles de ruido medidos in situ cumplen o no con las normativas vigentes, tanto la Ley 37/2003 de ámbito nacional como la Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana. Para nuestro caso, se van a considerar los niveles máximos permitidos cuando existe predominio de uso sanitario y predominio de uso terciario, ya que son los dos casos que vamos a encontrar.

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

- Predominio de suelo de uso sanitario y docente 60 dBA.
- Predominio de suelo de uso terciario 70 dBA.

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

- Predominio de suelo de uso sanitario y docente 45 dBA.
- Predominio de suelo de uso terciario 65 dBA.

Puntos	Tipo de suelo	Promedio LAeq (dBA)	Cumplimiento de la normativa	
			Estatal	Autonómica
1	Sanitario	52,4 ± 2,7	SI	NO
2	Sanitario	52,8 ± 2,7	SI	NO
3	Sanitario	53,4 ± 2,6	SI	NO
4	Sanitario	62,9 ± 2,0	NO	NO
5	Sanitario	49,2 ± 1,9	SI	NO
6	Sanitario	54,7 ± 1,9	SI	NO
7	Sanitario	50,8 ± 3,1	SI	NO
8	Terciario	47,5 ± 2,8	SI	SI
9	Terciario	53,6 ± 1,9	SI	SI
10	Terciario	62,6 ± 1,8	SI	SI
11	Terciario	61,6 ± 1,8	SI	SI
12	Terciario	68,6 ± 1,8	SI	NO
13	Terciario	57,9 ± 2,0	SI	SI
14	Terciario	64,0 ± 1,8	SI	SI
15	Terciario	57,3 ± 2,1	SI	SI

Tabla 12. Verificación de las normativas.

10. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el estudio acústico se van a comparar los resultados obtenidos en las mediciones tomadas in situ con los niveles exigidos por las normativas vigentes. Lo primero que se puede observar es que hay una diferencia notable en cuanto al cumplimiento de las legislaciones debido, lógicamente, a la diferencia de los valores sonoros máximos permitidos entre ellas.

La Ley 7/2002 de la Comunidad Valenciana es la más restrictiva de las dos y por tanto en la que más se incumple con los niveles permitidos superando los máximos admisibles en más de la mitad de los puntos, sobre todo en aquellos en que el nivel de ruido es más restrictivo ya que el tipo de suelo es sanitario.

Por otra parte, tras contrastar los resultados obtenidos con los niveles exigidos por la Ley 37/2003 de ámbito nacional que es no es tan estricta, se puede afirmar que se cumple la normativa en la totalidad de los puntos exceptuando el punto número 4 que supera el máximo permitido por tan solo 2.3 dB. Esto seguramente es debido a que es el acceso con más tráfico que tiene el Hospital y es por ello por lo que han podido incrementar los niveles recogidos casi en 10 dB si lo comparamos con los demás puntos medidos en suelo sanitario.

Cabe destacar las medidas tomadas para el cumplimiento de la normativa estatal en la zona que colinda con la carretera N-337, ya que es la zona más sensible. Las barreras acústicas colocadas estratégicamente al lado de la carretera y el muro de tierra levantado hacen que el nivel de ruido disminuya notablemente eliminando casi por completo el principal foco de ruido.

De la simulación realizada con el programa Predictor se puede afirmar que los resultados obtenidos han sido coherentes a excepción de un punto, confirmando así que las mediciones con sonómetro se realizaron correctamente. También cabe destacar que gracias a la ayuda de Predictor se han podido realizar los mapas de ruido y comprobar que el programa también ofrece una gran fiabilidad y, aunque siempre se acercarán más a la realidad las mediciones realizadas in situ, esta herramienta nos ofrece una gran ayuda para la realización de estudios acústicos de cualquier tipo.

11. PROPUESTA DE MEJORA

Según la Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de Protección contra la Contaminación Acústica, los Planes Acústicos Municipales deben contar con un plan de actuación en el que se traten los siguientes puntos:

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

Para conseguir reducir la contaminación acústica y así mejorar los niveles de ruido en los puntos que no cumplen con la normativa se proponen una serie de medidas correctoras:

- Como se deduce de los resultados obtenidos, el principal problema de contaminación acústica que sufre el Hospital Francesc de Borja es debido al tráfico rodado. Por tanto, se propone reducir el flujo de tráfico o establecer unos límites de velocidad más restrictivos en la Av. d'Alacant y el tramo de la N-337 que colinda con el Hospital, ya que según los resultados son las áreas más sensibles y con mayor afección por ruido.
- También se propone incorporar más elementos de protección frente al ruido como son las barreras acústicas situadas en el tramo de la N-337 para así conseguir una mayor reducción del ruido.
- Otra medida que puede ser interesante es la utilización de pavimento fonoabsorbente en las zonas de acceso al Hospital Francesc de Borja ya que puede producir una reducción bastante notable de entre 1 y 4 dBA.
- Otra medida para tener en cuenta es la creación de más zonas verdes para así conseguir una mayor absorción del ruido.
- Por último, podrían realizarse campañas de concienciación ciudadana sobre los diversos efectos nocivos que la contaminación acústica puede producir sobre las personas y sobre el entorno.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- [2] Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- [3] Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- [4] Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Comunidad Valenciana.
- [5] Real Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, por el que se establecen normas de prevención y corrección de las edificaciones, obras y servicios.
- [6] Real Decreto 104/2006, de 14 de julio, de Planificación y Gestión en materia de contaminación acústica.
- [7] BOE-184 Código del Ruido.
- [8] Acústica Ambiental: análisis, legislación y soluciones. Sociedad Española de Acústica SEA, 2009.
- [9] Harris C. Manual de medidas acústicas y control del ruido. Ed. Mc Graw Hill. 1995.
- [10] Manual de usuario Sonómetro 2250.
- [11] Manual de usuario Predictor Tipo 7810 Versión 6.1.
- [12] Manual de usuario Testo-410.
- [13] Planos de la Estructura General y Orgánica del Territorio de Gandia.