

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



"ANÁLISIS Y COMPARATIVA ENTRE EL
ACTUAL MODELO DE PREDICCIÓN DE
RUIDO CN OSSOS-EU FRENTE AL MODELO
NMPB-ROUTES-2008."

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre - 2021

AUTOR: Mario Bravo Antolín

DIRECTOR/ES: Héctor Campello Vicente

Nuria Campillo Davó

*Análisis y comparativa entre el actual modelo de predicción de ruido CNOSSOS-EU
frente al modelo NMPB-ROUTES-2008.*



ÍNDICE

1.	Introducción.....	11
1.1.	Mapas de ruido	12
1.1.1.	Fuentes de Ruido	12
1.1.2.	Métodos para el diseño de los mapas de ruido	13
1.2.	Modelos de predicción europeos	14
1.2.1.	NMPB-ROUTES 2008 y CNOSSOS-EU	14
1.2.2.	Otros modelos de predicción europeos.....	15
1.2.3.	Modelo fuente en los modelos alternativos	16
1.2.3.1.	CORTN	17
1.2.3.2.	RLS90	17
1.2.3.3.	SP96.....	19
1.3.	Legislación aplicable.....	20
1.3.1.	Legislación europea:	20
1.3.2.	Legislación estatal:.....	21
1.3.3.	Legislación autonómica:.....	21
1.3.4.	Legislación local:	22
1.4.	Objetivos del trabajo.....	23
2.	Ruido de tráfico rodado	25
2.1.	NMPB-ROUTES 2008	25
2.1.1.	Descripción del modelo fuente	25
2.1.1.1.	Ruido de propulsión	25
2.1.1.2.	Ruido de rodadura.....	26
2.1.2.	Descripción del modelo propagación.....	28
2.1.2.1.	Atenuación por divergencia geométrica	30
2.1.2.2.	Atenuación por absorción atmosférica	30

2.1.2.3.	Atenuación por efecto suelo	31
2.1.2.4.	Atenuación debida a la difracción	32
2.2.	CNOSSOS-EU	35
2.2.1.	Descripción del modelo fuente	35
2.2.1.1.	Ruido de propulsión	35
2.2.1.2.	Ruido de rodadura	40
2.2.1.3.	Descripción del ruido como fuente lineal.....	42
2.2.2.	Descripción del modelo de propagación.....	42
2.2.2.1.	Divergencia geométrica	43
2.2.2.2.	Absorción atmosférica	44
2.2.2.3.	Exceso de atenuación	44
2.2.2.4.	Atenuación por difracción	45
2.3.	Principales diferencias entre modelos	46
2.3.1.	Tipos de flujo en vías.....	46
2.3.2.	Tipos de pavimento.....	47
2.3.3.	Categorías de vehículos	48
2.3.4.	Resumen y consecuencias de las diferencias.....	48
3.	Caso de estudio.....	49
3.1.	Proceso de recogida de datos	50
3.2.	Creación del mapa digital.....	57
3.2.1.	Modelos de mapa digitales	57
3.2.2.	El Software IMMI	58
3.2.3.	Importación del mapa y preparación de zonas.....	59
3.3.	Importación de valores	63
3.3.1.	Importación de valores recogidos para el método CNOSSOS.....	63
3.3.2.	Adaptación e importación de datos NMPB-ROUTES.....	64
3.3.3.	Clasificación del resto de vías	65

3.4.	Calibración del mapa digital.....	68
3.4.1.	Área de ruido de fondo.....	68
3.4.2.	Protocolo de calibración de puntos.....	69
3.4.3.	Tablas de calibración.....	71
3.5.	Simulación digital para previsión de valores de ruido.....	73
4.	Resultados.....	75
4.1.	Niveles de ruido en puntos receptores.....	75
4.2.	Población expuesta a niveles de ruido.....	77
4.3.	Mapas de niveles de ruido.....	81
5.	Conclusiones.....	84
	Referencias Bibliográficas.....	85
	Anexos.....	87
	Anexo I – Planos.....	87
	Anexo II – Ejemplos de posicionamiento del sonómetro en las mediciones de campo....	90
	Anexo III – Análisis del proceso de calibración.....	93

Análisis y comparativa entre el actual modelo de predicción de ruido CNOSSOS-EU
frente al modelo NMPB-ROUTES-2008.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Características de los modelos fuente en modelos de predicción alternativos [4]	16
Tabla 2 - Características y clasificación de los vehículos en el modelo NMPB-ROUTES 200825	
Tabla 3 - Ecuaciones para la obtención del valor del ruido de rodadura L_{wr} según los tipos de superficie, para el modelo NMPB-ROUTES 2008	27
Tabla 4 - Corrección del valor de ruido de rodadura según la antigüedad de las vías.	28
Tabla 5 - Coeficientes de absorción atmosférica (a 15°C y 70% de H.R.) para cada banda de octava.	30
Tabla 6 - Valores de G en función del tipo de superficie.	31
Tabla 7 - Características y clasificación de los vehículos en el modelo CNOSSOS-EU [5]	36
Tabla 8 - Tabla utilizada para la recopilación de datos de medidas de campo.	63
Tabla 9 - Tabla utilizada para la conversión de contabilizados CNOSSOS en NMPB-ROUTES.	64
Tabla 10 - Valores de las "Vías tipo" para el modelo CNOSSOS.	67
Tabla 11 - Valores de las "Vías tipo" para el modelo NMPB-ROUTES.	67
Tabla 12 - Tabla utilizada en la comparativa de valores para calibración de zona.	71
Tabla 13 - Tabla resumen de calibración de zona.	72
Tabla 14 - Nº de habitantes expuestos a los diferentes rangos de valores de ruido en dB, calculados para el modelo CNOSSOS.	78
Tabla 15 - Nº de habitantes expuestos a los diferentes rangos de valores de ruido en dB, calculados para el modelo NMPB-ROUTES.	78

Análisis y comparativa entre el actual modelo de predicción de ruido CNOSSOS-EU frente al modelo NMPB-ROUTES-2008.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Posición de las fuentes puntuales de ruido en vehículos. Fuente [2].....	37
Figura 2 - Niveles sonoros de las diferentes categorías de vehículos del modelo CNOSSOS-EU en función de la velocidad [5].....	39
Figura 3 - Variación de la potencia sonora de ruido de rodadura según la categoría de superficie [5].....	41
Figura 4 - Sonómetros 2260 y 2250 respectivamente de Brüel & Kjaer.....	50
Figura 5 - Ejemplo de posicionamiento del sonómetro durante una medición.	51
Figura 6 - Software Noise Explorer Type 7815 E.....	52
Figura 7 - Estación meteorológica portátil. Fuente [Internet].....	53
Figura 8 - Captura de pantalla de smartphone con información de coordenadas GPS. Fuente [Apple iPhone]	54
Figura 9 – Ficha utilizada de la zona de Plaza Barcelona y Carrús con la indicación de puntos de medida.....	55
Figura 10 - Ficha de medida de corta duración.	56
Figura 11 - Web oficial del Centro de Descargas del organismo autónomo Centro Nacional de Información Geográfica.	57
Figura 12 - Captura de pantalla de la zona Obispo Siurí, donde se pueden apreciar los distintos puntos receptores (círculos blancos y negros) situados en las vías dónde se realizaron las mediciones de campo.....	58
Figura 13 - Ventana general de IMMI con la zona completa estudiada.	59
Figura 14 - Ventanas de edición general y de edición de contabilizado de vehículos y su velocidad para la vía tipo CNOSSOS correspondiente a la calle Capità Antoni Mena de Elche.	61
Figura 15 - Ventanas de edición general y de contabilizado y velocidad para la misma vía, en este caso corresponde a una vía tipo NMPB-ROUTES.	61
Figura 16 - Espiras instaladas la vía para el contabilizado de vehículos.	66
Figura 17 - Ventana de configuración de los distintos tipos de cálculos, los tres iconos verdes superiores de la columna de la izquierda muestran corresponden al calculo de puntos receptores, ruido en fachadas y gradiente de ruido por área respectivamente.	73
Figura 18 - Número de valores Lday en receptores calculados mediante CNOSSOS.	75
Figura 19 - Número de valores Lday en receptores calculados mediante NMPB-ROUTES. ..	76
Figura 20 - Gráfico comparativo de modelos CNOSSOS (columnas izquierdas) y NMPB-ROUTES (derechas) con los habitantes expuestos a diferentes niveles de ruido para la franja horaria	

Lday.....	79
Figura 21 - Mapa de niveles de ruido calculado mediante el modelo CNOSSOS para el periodo	
Lday.....	81
Figura 22 - Mapa de niveles de ruido calculado mediante el modelo NMPB-ROUTES para el	
periodo Lday.	82
Figura 23 - Punto 2C de Altabix, correspondiente al Camí del Pantà, efectuando la medida	
Lday.....	90
Figura 24 - Punto 2C de Altabix, correspondiente al Camí del Pantà, efectuando la medida	
Levening.....	91
Figura 25 - Punto 1I de Altabix, correspondiente a la Av. de la Universitat, efectuando la	
medida Levening.....	91
Figura 26 - Puntos 4C y 4E de la zona Obispo Siurí, correspondientes a las vías Av de la	
Llibertat y Concepción Arenal, efectuando las medidas Lday y Levening respectivamente	92



1. Introducción

La redacción del presente trabajo viene precedida por el interés en el campo de la ingeniería acústica que desde hace varios años ha motivado a su autor a orientar el fin de sus estudios de grado hacia dicho campo.

El contenido del trabajo se divide principalmente en la introducción, que ocupa el primer capítulo, en el capítulo segundo se describen los dos modelos comparados en el trabajo comenzando de esta forma a marcar las diferencias entre ambos sobre como analizan el ruido emitido por las fuentes y como se propaga hasta el receptor. En el capítulo tercero, se introducen los datos recopilados para el Mapa Estratégico de Ruido (MER) en el mapa de análisis virtual de ruido, se muestra el calibrado del mismo y se realizan los casos prácticos de los dos modelos de predicción. Por último, en los dos capítulos finales, se exponen los datos obtenidos y se realiza una comparativa y análisis de los mismos para alcanzar una conclusión.

Dado que los datos recopilados para el MER se realizaron entre los meses de octubre y diciembre de 2020 durante la pandemia producida por el SARS-CoV-2, y sus consecuentes restricciones de movilidad nocturna decretadas por el Gobierno Central y la Generalitat Valenciana, las mediciones de campo analizadas en el caso de estudio carecen casi en su totalidad de medidas realizadas en la franja horaria nocturna L_{night} .

El presente trabajo queda por tanto enmarcado dentro de los trabajos de MER de Elche donde, a partir de datos recopilados de parte de este proyecto, se ha estudiado una parte del casco urbano para efectuar los análisis de la comparativa entre los modelos de cálculo analizados, cuya extensión abarca desde la zona de la Universidad Miguel Hernández y sus alrededores, hasta el barrio de Obispo Siurí aproximadamente.

1.1. Mapas de ruido

Se pueden definir los mapas de ruido como la representación cartográfica de los niveles de presión sonora existentes en una zona concreta. [1] Los organismos oficiales utilizan estos mapas para evaluar diferentes fuentes de contaminación acústica y su impacto sobre los habitantes de una zona determinada.

Dentro de los mapas de ruido, se puede diferenciar entre el propio Mapa de Ruido, y el Mapa Estratégico de Ruido. Mientras que el primero únicamente recopila y muestra los valores de ruido en una zona geográfica, indicando niveles que puedan superar límites vigentes, población afectada, etc., el segundo analiza dichos datos y estima una predicción del ruido sobre dicha zona [2].

1.1.1. Fuentes de Ruido

El inicio de la cadena de elementos que se analizan para la elaboración de los mapas de ruido comienza con la propia fuente generadora del mismo. Será de gran importancia poder identificar y separar por tipologías los diferentes tipos de ruido para poder medir y analizar cada uno de ellos según la zona donde se produzcan y las franjas horarias.

Según la DIRECTIVA 2002/49/CE de la UE [2], las fuentes de ruido más habituales que se contemplan en los mapas son:

- Tráfico rodado
- Tráfico ferroviario
- Aeropuertos y tráfico aéreo
- Actividades industriales

El actual trabajo utilizará únicamente el ruido de tráfico rodado para el análisis y comparación de los dos modelos de predicción, el cual además constituye la principal fuente de ruido en ciudades. [3]

1.1.2. Métodos para el diseño de los mapas de ruido

En un escenario ideal, la representación de un mapa de ruido debería reflejar perfectamente el nivel de ruido en cada punto representado, habiendo medido todos y cada uno de los puntos de un mapa. Sin embargo, en la práctica es imposible poder hacer mediciones en todos los puntos de una ciudad y para todos los instantes de tiempo en un período de años.

Por esta razón, existen tres técnicas básicas para la elaboración de mapas de ruido que permiten, a partir de su recogida de datos y extrapolación, representar con grado aceptable de precisión el ruido en cada punto de un mapa: Muestreo – Simulación - Mixto

- Por muestreo: realizando mediciones de campo para evaluar uno por uno los puntos de una malla previamente acotada en un mapa o zona. De este modo se obtienen valores reales de ruido y contabilizado de vehículos en puntos concretos, no obstante, estas mediciones serán la representación de un período muy corto de tiempo, por lo que se deberá tratar esta información acorde al grado de incertidumbre que contienen.
- Por simulación: gracias al desarrollo de software y potencia de cálculo de las computadoras, existen programas capaces de calcular con gran precisión el ruido en una zona, no obstante, el técnico encargado de simular una zona, deberá introducir una gran cantidad de datos, tanto geográficos y atmosféricos como de ruidos al margen de la fuente estudiada, para que los resultados puedan acercarse a la situación real.
- Modo mixto: Es la más utilizada en la actualidad, en esta técnica, se combinan las dos anteriores para elaborar un mapa de ruido. Como se verá en el caso de estudio, la realización del mapa comienza por la medición de campo en determinados puntos, para posteriormente trasladar los valores del contabilizado de vehículos de dichos puntos, causantes del ruido evaluado, en el software de predicción. Una vez introducidos dichos valores se calcula el ruido del modelo digital, calibrándose hasta conseguir valores digitales de ruido similares a los recogidos en las mediciones de campo.

1.2. Modelos de predicción europeos

Con el objetivo de predecir el ruido del tráfico rodado en una vía y su impacto en los alrededores, a lo largo de los años diferentes países han desarrollado modelos de predicción de ruido. En todos ellos, se utiliza en primer lugar el denominado “modelo de fuente”, que utiliza variables de densidad de tráfico, composición, velocidad, tipo de asfalto y pendiente de la vía. Con todo ello, se cuantifica una potencia acústica a la fuente. Una vez establecida la potencia del emisor, se introducen correcciones para la propagación, reflexiones, barreras, absorción del suelo, del aire, etc., estableciendo lo que comúnmente denominan “modelo de propagación”. [4]

La obtención del modelo fuente y modelo propagación suele ser semiempírica, los niveles sonoros obtenidos se determinan a partir de un gran número de mediciones.

Dado que cada vez evolucionan con mayor rapidez las características de los vehículos, así como las nuevas tecnologías de propulsión híbridas y eléctricas, se aconseja la revisión y actualización periódica de los modelos existentes de predicción de ruido.

1.2.1. NMPB-ROUTES 2008 y CNOSSOS-EU

Los modelos de predicción NMPB-ROUTES 2008 y CNOSSOS-EU serán los analizados y comparados en el presente trabajo, el primero de ellos fue el utilizado en España por carecer de modelo propio de medida, siendo sustituido progresivamente por el nuevo modelo CNOSSOS-EU, planteado en 2012 e implementado en 2015 en Europa, y que pasó a ser el único sistema de medición permitido a partir del 31 de diciembre de 2018. [5]

1.2.2. Otros modelos de predicción europeos

A continuación, se describen los tres principales modelos de predicción que, junto al modelo francés NMPB-ROUTES 2008, fueron los más utilizados tanto por los países que los desarrollaron, como por el resto de países que, como en el caso de España, necesitaron un modelo antes de que se desarrollara un modelo común para la Comunidad Europea.

1.- CORTN. Inglaterra.

2.- RLS90. Alemania.

3.- Statens Planverk 96. Países nórdicos.

Al igual que el modelo francés NMPB-ROUTES, estos modelos han sido sustituidos por el CNOSSOS a partir de su entrada en 2012, aunque en la práctica todavía se han seguido utilizando posteriormente para la realización de mapas de ruido.



1.2.3. Modelo fuente en los modelos alternativos

En la siguiente tabla se presentan características y referencias tomadas de los modelos de fuente de los tres modelos anteriores, se indican los descriptores de ruido considerados en cada estándar, rangos de velocidades considerados, la distancia y altura de referencia, los horarios considerados y condiciones por defecto.

Tabla 1 - Características de los modelos fuente en modelos de predicción alternativos [4]

	CORTN	RLS90	SP96
Índice	L ₁₀ (1h), L ₁₀ (18h)	L _{Aeq} Day, L _{Aeq} Night	L _{Aeq} , L _{AFqmax}
Velocidad	Máxima permitida	Máxima permitida. Rango permitido para ligeros: 30-130 Km/h Rango permitido para vehículos pesados: 30-80 Km/h	Velocidad promedio. Rango permitido para ligeros: ≥30 Km/h Rango permitido para vehículos pesados :30-90 Km/h
Distancia	10 m	25 m	10 m
Altura	0,5 m	4 m	1,5 m
Horario	1 h, la más ruidosa. 18 h	Día: 06:00 – 22:00 h Noche: 22:00 – 06:00 h	24 h, se puede realizar cálculo para cualquier intervalo de tiempo
Pesados		2800 kg	3500 kg
Correcciones	- Velocidad - Superficie - Gradiente	- Velocidad - Superficie - Gradiente - Reflexiones	- Velocidad - Superficie - Gradiente
Condiciones por defecto	Velocidad asumida 75Km/h. No pesados.	Ligeros 100 Km/h Pesados 80 Km/h Asfalto liso. G < 5 %	Asfalto denso, liso, con más de 1 año de antigüedad, con máximo tamaño de lámina de 12-16mm, con temperaturas entre 10º y 20º. Variación de 0,1dB/ºC.

En los siguientes apartados se describen a continuación las expresiones de los tres modelos que permiten calcular sus respectivos niveles base.

1.2.3.1. CORTN

En el caso de este método, el índice descriptor del nivel sonoro es el percentil 10, L_{10} :

$$L_{10}(1h) = 42,2 + 10 \log(q) \quad (dBA) \quad (1)$$

$$L_{10}(18h) = 29,1 + 10 \log(Q) \quad (dBA) \quad (2)$$

Donde:

q: cantidad de vehículos por hora

Q: cantidad de vehículos en 18h

En caso de tener que trabajar con otras velocidades y tipologías de tráfico, la corrección necesaria, $C_{v,p}$, viene dada por:

$$C_{v,p} = 33 \log\left(V + 40 + \frac{500}{V}\right) + 10 \log\left(1 + \frac{5P}{V}\right) - 68,8 \quad (dBA) \quad (3)$$

Donde:

V: velocidad del flujo de tráfico en km/h

P: proporción de vehículos pesados en %

1.2.3.2. RLS90

En este método, el nivel base L_{Aeq} se evalúa mediante la expresión:

$$L_{Aeq} = 37,3 + 10 \log[Q(1 + 0,082P)] \quad (dBA) \quad (4)$$

Donde:

Q: densidad del tráfico, en vehículos por hora

P: porcentaje de vehículos pesados

El término de corrección para velocidades distintas de la estándar, D_v , viene calculado por la siguiente expresión:

$$D_v = L_{ligeros} - 37,3 + 10 \log \left[\frac{100 + (10^{0,1C} - 1)P}{100 + 8,23P} \right] \quad (5)$$

Donde:

$$L_{ligeros} = 27,7 - 10 \log [1 + (0,02V_{(ligeros)})^3] \quad (6)$$

$$L_{pesados} = 23,1 + 12,5 \log(V_{pesados}) \quad (7)$$

$$C = L_{pesados} - L_{ligeros} \quad (8)$$

$$\frac{30km}{h} \leq V_{ligeros} \leq \frac{130km}{h}$$

$$\frac{30km}{h} \leq V_{pesados} \leq \frac{80km}{h}$$

1.2.3.3. SP96

En el Statens Planverk 96, el método de los países nórdicos, el nivel base se evalúa mediante la expresión:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[10^{\frac{L_{Aeq,10m}(ligeros)}{10}} + 10^{\frac{L_{Aeq,10m}(pesados)}{10}} \right] \quad (9)$$

Donde:

$$L_{Aeq,10m}(ligeros) = L_{(AE,10m)}(ligeros) + 10 \log \left(\frac{N_l}{T} \right) \quad (10)$$

$$L_{Aeq,10m}(pesados) = L_{(AE,10m)}(pesados) + 10 \log \left(\frac{N_p}{T} \right) \quad (11)$$

$$L_{AE,10m}(ligeros) = 73,5 + 25 \log \left(\frac{V}{50} \right) \quad \text{para } V \geq 40 \text{ km/h} \quad (12)$$

$$L_{AE,10m}(ligeros) = 71 \quad \text{para } V < 40 \text{ km/h} \quad (13)$$

$$L_{AE,10m}(pesados) = 81 + 30 \log \left(\frac{V}{50} \right) \quad \text{para } 50 \text{ km/h} \leq V \leq 90 \text{ km/h} \quad (14)$$

$$L_{AE,10m}(pesados) = 81 \quad \text{para } V < 50 \text{ km/h} \quad (15)$$

Con N_l y N_p como el número de vehículos ligeros y pesados durante el intervalo de tiempo T , contabilizado en segundos.

1.3. Legislación aplicable

Existe numerosa normativa aplicable en el proceso de elaboración de los Mapas Estratégicos de Ruido. Desde las directivas redactadas por la Comisión y el Parlamento Europeo hasta las ordenanzas municipales de la Ciudad de Elche, pasando por las leyes, decretos y reales decretos autonómicos y nacionales respectivamente. Toda esta normativa describe, caracteriza y establece los límites de las diferentes fuentes de ruido relevantes en la contaminación acústica.

Asimismo, mediante procedimientos claramente detallados, se describen los pasos para realizar las mediciones de campo, que posteriormente servirán para obtener unos valores de ruido representativos del mapa real de ruido.

Se enumera a continuación la legislación aplicable en materia de elaboración de Mapas de Ruido y, por tanto, en los diferentes apartados del presente trabajo. Separada según su nivel de procedencia se tiene:

1.3.1. Legislación europea:

- DIRECTIVA 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- DIRECTIVA 2015/996/EC, de la Comisión, de 19 de mayo de 2015 por la que se establecen métodos comunes de evaluación del ruido en virtud de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- DIRECTIVA 2020/367 de la Comisión, de 4 de marzo de 2020, por la que se modifica el anexo III de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al establecimiento de métodos de evaluación para los efectos nocivos del ruido ambiental.

1.3.2. Legislación estatal:

- LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Orden PCI/1319/2018, de 7 de diciembre (BOE 3 de diciembre de 2018) se transpone la Directiva (UE) 2015/996 de la Comisión al ordenamiento jurídico español, y se sustituye el anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, para su adaptación al progreso técnico.
- REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, desarrolla la Ley 37/2007, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

1.3.3. Legislación autonómica:

- LEY 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Protección contra la Contaminación Acústica.
“Como dato meramente informativo, cabe destacar que esta ley autonómica fue redactada e implantada antes que la LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, a nivel estatal. No siguiendo de este modo el orden habitual (DIRECTIVA UE > LEY Estatal > LEY Autonómica)”
- DECRETO 104/2006, de 14 de julio, del Consell de la Generalitat Valenciana, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica.

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

1.3.4. Legislación local:

- ORDENANZA de protección contra la contaminación acústica en el Municipio de Elche, Boletín Oficial de la Provincia - Alicante, BOP Nº 48 de 08/03/2018.



1.4. Objetivos del trabajo

El presente trabajo tendrá por objeto realizar una primera presentación objetiva de las principales diferencias entre los modelos de predicción NMPB-ROUTES 2008 y CNOSSOS-EU, para posteriormente determinar, principalmente, la diferencia de precisión en la introducción de los datos y su posterior relevancia en los valores de predicción de ruido obtenidos entre los dos modelos.

De esta forma, se determinará si existe diferencia entre los valores de un mismo mapa al simularlos con cada uno de los modelos, y en caso de existir, cuál es esa diferencia y como podría afectar el cambio de un modelo a otro en la actualización de los MER.

En un segundo plano, los resultados obtenidos permitirán también la utilización de ambos modelos de forma conjunta en un software de predicción para aprovechar las diferentes características de diseño de ambos, pudiendo estimar el nivel de detalle y las diferencias en cada uno de los modelos.



*Análisis y comparativa entre el actual modelo de predicción de ruido CNOSSOS-EU
frente al modelo NMPB-ROUTES-2008.*



2. Ruido de tráfico rodado

2.1. NMPB-ROUTES 2008

Este modelo de origen francés, al igual que el resto de modelos desarrollados inicialmente en Europa, fue creado con el objetivo de predecir el ruido generado por una vía de circulación de tráfico rodado, permitiendo evaluar el nivel de ruido ambiental y, de esta forma, poder estimar el impacto sonoro de las diferentes fuentes de ruido en la zona bajo estudio.

En el caso del presente trabajo, se utilizará la versión del modelo actualizado NMPB-ROUTES 2008.

2.1.1. Descripción del modelo fuente

Para poder describir con precisión una fuente sonora, es necesario previamente segmentar el tráfico rodado en diferentes tipos, de esta forma, podremos establecer diferentes niveles de emisión estándar para cada tipo de vehículo.

Esta emisión sonora se suele subdividir en dos subfuentes: ruido de propulsión y ruido de rodadura.

2.1.1.1. Ruido de propulsión

En el caso del modelo NMPB-ROUTES 2008, se dividen los tipos de tráfico rodado en dos categorías:

- Ligeros
- Pesados

Se establecen en la siguiente tabla las características de cada uno de ellos:

Tabla 2 - Características y clasificación de los vehículos en el modelo NMPB-ROUTES 2008

Categoría	Características
Ligeros	Todos los vehículos con un peso inferior a los 3500 kg a plena carga.
Pesados	Vehículos con un peso superior a 3500 kg.

Independientemente de la categoría, el modelo establece una única fuente puntual de ruido situada a 0,05 m sobre el nivel del suelo a efectos de cálculo.

Una vez clasificado el tráfico, se puede establecer un flujo por hora Q , para obtener el nivel por hora equivalente E para vehículos ligeros Q_L o pesados Q_P . Así, la potencia acústica de una fuente lineal que representa una vía $L_{A,w}$, viene dada por:

$$L_{A,wi} = [(E_L + 10\log Q_L) + (E_P + 10\log Q_P) + 20 + 10 \log (I_i) + R_j] \quad (16)$$

Con I_i correspondiente a la longitud del segmento fuente lineal de la vía y R_j el valor del ruido espectral normalizado, obtenido del NEN-EN 1793-3:1995 [6].

2.1.1.2. Ruido de rodadura

En el caso del ruido de rodadura, éste dependerá de la velocidad, pero a su vez variará en función del tipo de superficie por la que se circule el vehículo. Dicha diferenciación del tipo de superficie se clasifica en la Guide du Bruit [3] en función de su composición:

- Categoría R1 bajo ruido (asfalto, en concreto de 0/6 y 0/10, siendo asfalto poroso 0/10)
- Categoría R2 ruido intermedio (mezcla fría, asfalto denso 0/10)
- Categoría R3 alto ruido (hormigón de cemento, tratamiento superficial 6/10 y 10/14, y asfalto concreto 0/14).

Los valores de L_{WR} expuestos en la Guide du Bruit se muestran en las siguientes tablas, para las diferentes categorías de suelo a una distancia a la fuente de 7,5 m en base a los ensayos normalizados los ensayos Coast-By. [3]

Tabla 3 - Ecuaciones para la obtención del valor del ruido de rodadura L_{wr} según los tipos de superficie, para el modelo NMPB-ROUTES 2008

<i>Ecuaciones L_{WR} (dB(A))</i>	V. LIGEROS	V. PESADOS
R1	$49,4+21\log(v/90)$	$59,1+20\log(v/80)$
R2	$53,4+20,1\log(v/90)$	$62,1+20\log(v/80)$
R3	$55,9+21,4\log(v/90)$	$63,1+20\log(v/80)$



Una vez definidas las ecuaciones para este tipo de vías en condiciones óptimas, estos valores extraídos de las expresiones de la tabla anterior deberán ser corregidos dependiendo de la antigüedad de la carretera estudiada aumentando los valores de las vías a partir de los 2 años de su pavimentación. En la siguiente tabla se muestran los valores que tomará dicha corrección manteniéndose a partir de los 10 años antigüedad:

Tabla 4 - Corrección del valor de ruido de rodadura según la antigüedad de las vías.

<i>Correcciones antigüedad</i>	V. LIGEROS	V. PESADOS
R1	0,5(a-2)	0,3(a-2)
R2	0,25(a-2)	0,15(a-2)
R3	0,2(a-2)	0,12(a-2)

Además de estas consideraciones, el modelo actualizado NMPB-ROUTES 2008 tiene en cuenta las reflexiones en terraplenes, difracciones en las barreras de baja altura entre otras consideraciones [7].

2.1.2. Descripción del modelo propagación

Para evaluar con qué nivel llega la onda de ruido hasta el receptor, el modelo se basa en el concepto de la “trayectoria de propagación”. Esto es, dependiendo de la topografía y los obstáculos, pueden existir varias trayectorias entre la fuente y el receptor por las que se puede asociar el término de nivel sonoro $L_{A_i,LT}$. Ciñéndose a lo descrito por la norma ISO 9613, el NMPB-ROUTES 2008 tiene en cuenta las condiciones meteorológicas estándar, clasificándolas como favorables para la propagación o como condiciones acústicas homogéneas. [8]

Por lo tanto, con las variables de entrada de densidad de tráfico, composición, velocidad, tipo de asfalto y pendiente de la vía se asigna una potencia acústica a la fuente que más tarde se detallará. Una vez calculada la potencia de la fuente, se establece el modelo de propagación mediante variables como la distancia a la fuente, las reflexiones creadas por el entorno o las barreras cercanas y la absorción del aire y el suelo.

Se define, por tanto, el nivel de predicción de cada trayectoria a largo plazo $L_{Ai,LT}$ como:

$$L_{Ai} = L_{A,wi} - A_i \quad (17)$$

Donde:

$L_{A,wi}$ Es el nivel de potencia acústica en dB(A) de la fuente Si en tercios de octava.

A_i Es la atenuación total a lo largo de la trayectoria de propagación en condiciones favorables y desglosadas según los siguientes parámetros:

$$A_i = A_{div} + A_{atm} + A_{grd} + A_{diff} \quad (18)$$

Donde:

A_{div} Atenuación debida a la divergencia geométrica

A_{atm} Atenuación debida a la absorción atmosférica

A_{grd} Atenuación por el efecto suelo

A_{diff} Atenuación debida a la difracción

Se describen a continuación algunos detalles sobre las atenuaciones anteriormente citadas, empleadas dentro del modelo de propagación basado en ISO 9613.

2.1.2.1. Atenuación por divergencia geométrica

Establece el nivel de sonido reducido debido a la distancia de propagación. Para una fuente esférica de sonido en campo libre, la atenuación en dB es igual a:

$$A_{div} = 10 \log(4\pi d^2) \approx 20 \log(d) + 11 \quad (19)$$

2.1.2.2. Atenuación por absorción atmosférica

La fricción e intercambio de energía vibratoria y rotacional en las moléculas en el aire provocan la atenuación debida a la absorción atmosférica, que durante la propagación a través de una distancia d en dB será:

$$A_{atm} = \frac{a * d}{1000} \quad (20)$$

Siendo α el coeficiente de atenuación atmosférica por frecuencias en dB/km, este coeficiente depende directamente de las condiciones meteorológicas, según con las condiciones de la ISO 9613.

Tabla 5 - Coeficientes de absorción atmosférica (a 15°C y 70% de H.R.) para cada banda de octava.

Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315
A (dB/km)	0,25	0,38	0,57	0,82	1,13	1,51
Frecuencia (Hz)	400	500	630	800	1000	1250
A (dB/km)	1,92	2,36	2,84	3,38	4,08	5,05
Frecuencia (Hz)	1600	2000	2500	3150	4000	5000
A (dB/km)	6,51	8,75	12,2	17,7	26,4	39,9

2.1.2.3. Atenuación por efecto suelo

La atenuación producida por el suelo consta de dos efectos: el primero de ellos negativo, debido a la reflexión desde el suelo hacia el receptor, y otro positivo, causado por la absorción sonora asociada a esa reflexión. El valor de esta atenuación, para cada banda de octava, depende del tipo de suelo y de la distancia fuente-receptor ligada a las condiciones atmosféricas existentes en la zona y respecto a la altura de este sobre el terreno. En general, la atenuación conseguida es mayor cuanto menor sea el ángulo de incidencia de las ondas sonoras respecto a la horizontal.

Las propiedades de absorción acústica del suelo están esencialmente ligadas a su porosidad. Mientras que los suelos compactos se comportan como planos reflectantes, los suelos porosos lo hacen como superficies absorbentes. Estas propiedades se representan en las ecuaciones mediante el coeficiente G adimensional, cuyos valores estimados son:

Tabla 6 - Valores de G en función del tipo de superficie.

Tipos de suelo	Coef. factor de suelo
Césped, prado, vegetación	1
Tierra sin compactar	0,7
Suelos arenosos compactos	0,3
Superficies asfaltadas	0

Si se trabaja con la última actualización del modelo, la NMPB-ROUTES 2008, la atenuación dependerá de la superficie existente entre el receptor y la fuente, y variará por el efecto de las reflexiones generadas en el terreno de acuerdo con el coeficiente adimensional G.

Si la superficie fuera totalmente reflectante, como es el caso de las superficies asfaltadas según la tabla 2 anterior, el valor de la atenuación $A_{sol,i}$ es igual a -3, para valores diferentes de G, se deben estudiar las atenuaciones por cada tercio de octava según las siguientes expresiones:

$$A_{sol,i} = 10 \log \left[4 \frac{k^2}{d_p^2} \left(Z_r^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} * Z_s + \frac{C_f}{k} \right) * \left(Z_r^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} * Z_r + \frac{C_f}{k} \right) \right] \quad (21)$$

Donde:

$$k = \frac{2\pi f_c}{C} \quad (22)$$

$$C_f = d_p \frac{1 + 3wd_p e^{-\sqrt{wd_p}}}{1 + wd_p} \quad (23)$$

$$w = 0,0185 \frac{f_c^{2,5} G_{tray}^{2,6}}{f_c^{2,5} G_{tray}^{2,6} + 1,3 * 10^3 * f_c^{0,75} G_{tray}^{1,3} + 1,16 * 10^6} \quad (24)$$

f_c Es la frecuencia central de banda de tercio de octava calculada, en Hz

C Es la velocidad del sonido en el aire, en m/s

2.1.2.4. Atenuación debida a la difracción

Esta variable de atenuación evalúa el descenso del nivel de ruido a lo largo del camino que sigue la onda desde la fuente hasta el receptor. Se compone a su vez de tres condiciones de reducción sonora que puede encontrar la onda al realizar el recorrido:

$$A_{diff} = \Delta_{dif(S,R)} + \Delta_{so(S,O)} + \Delta_{sol(O,R)} \quad (25)$$

Donde:

$\Delta_{dif(S,R)}$ Es la atenuación debida a la difracción entre la fuente S y el receptor R.

$\Delta_{so(S,O)}$ Es la atenuación debida al efecto del suelo en el lado de la fuente, ponderado por la difracción en el lado de la fuente.

$\Delta_{sol(O,R)}$ Es la atenuación debida al efecto del suelo en el lado del receptor, ponderado por la difracción en el lado del receptor.

Siendo estos valores evaluados mediante:

$$\Delta_{dif(S,R)} = 10 \log \left(3 + \left(\frac{40}{\lambda} \right) C'' \delta \right) \quad \text{si } \left(\frac{40}{\lambda} \right) C'' \delta \geq -2 \quad (26)$$

$$\Delta_{dif(S,R)} = 0 \quad \text{si } \left(\frac{40}{\lambda} \right) C'' \delta < -2 \quad (27)$$

Donde:

λ Es la longitud de onda de la frecuencia central de la banda de octava considerada.

δ Es la diferencia de camino entre el trayecto difractado y el trayecto directo.

C'' Es el coeficiente que considera las difracciones múltiples.

$$\Delta_{so(S,O)} = -20 \log \left(1 + \left(10^{\frac{\Delta_{sol(S,O)}}{20}} - 1 \right) \right) * 10^{\frac{-(\Delta_{dif(S',R)} - \Delta_{dif(S,R)})}{20}} \quad (28)$$

Donde:

$\Delta_{sol(S,O)}$ Es la atenuación debida al efecto suelo entre la fuente S y el punto de difracción O.

$$\Delta_{sol(O,R)} = -20 \log \left(1 + \left(10^{\frac{\Delta_{sol(O,R)}}{20}} - 1 \right) \right) * 10^{\frac{-(\Delta_{dif(S',R)} - \Delta_{dif(S,R)})}{20}} \quad (29)$$

Donde:

$\Delta_{sol(O,R)}$ Es la atenuación debida al efecto suelo entre la fuente S y el punto de difracción O.

Por lo tanto, el valor de potencia de la fuente y todos los valores de atenuación expuestos, permiten establecer el modelo de predicción de ruido de NMPB-ROUTES 2008.



2.2. CNOSSOS-EU

El modelo CNOSSOS- EU, por su parte, fue creado con el fin de unificar valores entre países miembros de la UE, proveyendo de un modelo de predicción y evaluación del ruido, para tráfico rodado, ferroviario, aéreo y de actividades industriales. [9]

2.2.1. Descripción del modelo fuente

2.2.1.1. Ruido de propulsión

En el caso del modelo CNOSSOS-EU, se puede encontrar una clasificación del tráfico rodado separada en cinco categorías de vehículos, una de ellas con dos subcategorías:

- Ligeros
- Semipesados
- Pesados
- Vehículos de dos ruedas
 - Ciclomotores
 - Motocicletas
- Categoría abierta

Se establecen en la siguiente tabla las características de cada uno de los cinco tipos:

Tabla 7 - Características y clasificación de los vehículos en el modelo CNOSSOS-EU [5]

Categoría	Nombre	Características
1	Ligeros	Turismos, furgonetas, trailers y caravanas con peso inferior a 3500 kg
2	Semipesados	Furgonetas con peso superior a 3500 kg, autobuses y vehículos pesados con solo dos ejes y doble neumático en el eje trasero.
3	Pesados	Camiones, autobuses y resto de vehículos pesados con al menos tres ejes.
4a	Ciclomotores	Ciclomotores, triciclos o quads con cilindrada inferior a 50cc.
4b	Motocicletas	Motocicletas, triciclos o quads con cilindrada superior a 50cc
5	Categoría abierta	Categoría por definir de acuerdo a futuras necesidades

Para realizar los cálculos de propagación del ruido y determinar la potencia emitida por la fuente, es necesario describir físicamente la posición de las fuentes. En el método CNOSSOS-EU, dichas fuentes se representan para los tipos de vehículos descritos en las categorías 1, 2, 3 mediante dos fuentes puntuales, a cada una de las cuales les corresponde una determinada contribución del ruido de rodadura y del ruido de propulsión. En el caso de los vehículos de dos ruedas, considerados en las categorías 4a y 4b de la tabla anterior, la representación se realizará mediante una sola fuente de emisión de ruido. Estas fuentes se posicionarán tal y como se puede apreciar en la siguiente figura:

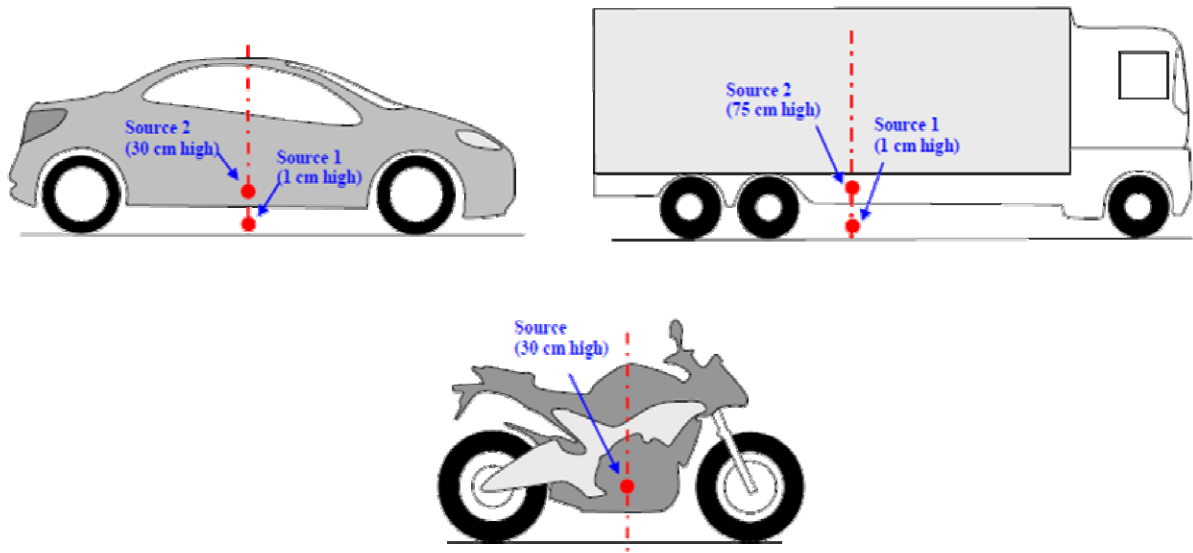


Figura 1 - Posición de las fuentes puntuales de ruido en vehículos. Fuente [2].

En las siguientes páginas se procederá a exponer diferentes figuras que detallen valores de emisión de ruido en las diferentes categorías de vehículos o tipos de pavimentos.

A modo general, el ruido generado por un flujo de tráfico determinado viene dado por la ecuación:

$$L_{W',eq,line,i,m} = L_{W,i,m} + 10 \times \log \left(\frac{Q_m}{1000 \times v_m} \right) \quad (30)$$

Donde:

$L_{W,i,m}$ Es la potencia sonora instantánea de un único vehículo en el campo semi libre, expresada en dB.

Q_m Es el flujo de vehículos por hora.

V_m Es la velocidad de los vehículos, en km/h.

Tal y como se explica en páginas anteriores, en el caso de las motocicletas y ciclomotores no existe componente de ruido de rodadura, por lo que a la hora de calcular el ruido generado por un vehículo individual se deberán utilizar distintas expresiones en función de la categoría.

Por lo tanto, la potencia generada por un único vehículo de las tres primeras categorías viene determinada por la ecuación:

$$L_{Wi,m} = L_{W,i,m} + 10 \times \log(10^{L_{WR,i,m}(v_m)/10} + 10^{L_{WP,i,m}(v_m)/10}) \quad (31)$$

Donde:

$L_{WR,i,m}$ Es el ruido generado por la componente del ruido de rodadura.

$L_{WP,i,m}$ Es el ruido generado por la componente del ruido de propulsión.

Para la categoría 4, correspondiente a los vehículos de dos ruedas, tan solo es considerada la componente de ruido de propulsión:

$$L_{W,i,m=4}(v_{m=4}) = L_{WP,i,m=4}(v_{m=4}) \quad (32)$$

Para realizar los cálculos en las mismas condiciones, se tomaron como condiciones de referencia las siguientes características de vehículos y su entorno, se puede encontrar esta información ampliada en la norma ISO 9613-1:1993(E) [9]:

- Velocidad constante
- Vía seca y sin pendiente
- Temperatura ambiente $\tau_{ref} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Asfalto SMA 0/11 de entre 2 y 7 años de antigüedad y con un buen mantenimiento
- Neumáticos sin clavos
- Grupos de vehículos cuyas características corresponden a los valores encontrados en la media europea.

En la gráfica mostrada a continuación se puede observar, para cada una de las categorías del modelo, los distintos niveles de potencia sonora en banda ancha y en función de la velocidad correspondientes al ruido de propulsión.

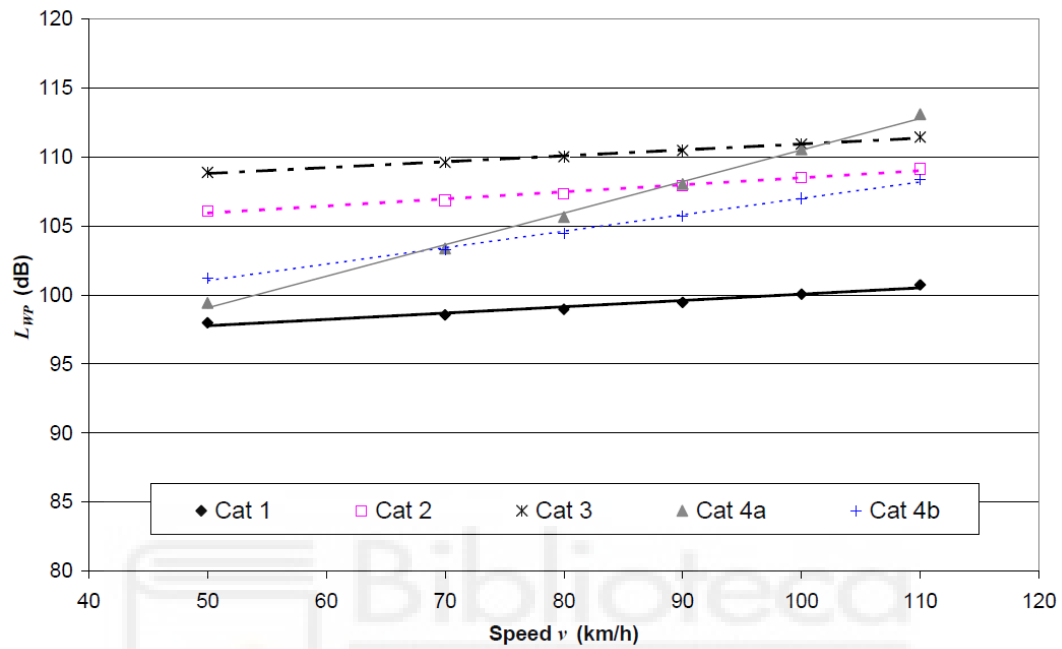


Figura 2 - Niveles sonoros de las diferentes categorías de vehículos del modelo CNOSSOS-EU en función de la velocidad [5].

Como se puede observar, los valores de emisión tienen un comportamiento proporcional en las tres primeras categorías, pero se encuentra una variación en la pendiente correspondiente al incremento de los valores de emisión en las dos subcategorías de la categoría 4. Esta variación puede estar ocasionada por los diferentes tipos de vehículos a dos ruedas que se incluyen en dicha categoría, la disposición de su motor y tubos de escape, etc.

Como es previsible, a cada una de estas categorías previamente descritas corresponderá un nivel de ruido determinado por las características intrínsecas de los vehículos que las componen, determinadas por su cilindrada, neumáticos, peso, aislamiento del bloque motor, etc. Sin embargo, si se atiende al ruido generado por un vehículo a motor circulando a cierta velocidad, se puede apreciar que, además del ruido generado por el sistema de propulsión, existe también un ruido de rodadura.

2.2.1.2. Ruido de rodadura

Esta fuente de ruido es generada por el choque entre los tacos del neumático y las rugosidades de los diferentes pavimentos que componen las vías, siendo diferente el ruido generado por un vehículo al circular por una carretera recién asfaltada, del ruido que generaría el mismo vehículo a velocidad similar al atravesar una vía pavimentada con adoquín de piedra.

Por lo tanto, y para evaluar dicha fuente, el método CNOSSOS-EU diferencia entre 15 tipos de superficies, que servirán para aplicar correcciones según su contribución a la generación de ruido:

- 0 - Reference: Dense asphalt concrete 0/11 – 0/16, stone mastic asphalt 0/11
- NL01 - 1-layer ZOAB: Porous asphalt
- NL02 - 2-layer ZOAB: Dual-layer porous asphalt
- NL03 - 2-layer ZOAB (fine): Dual-layer porous asphalt with fine top layer
- NL04 - SMA-0/5: Stone mastic asphalt with stones of maximum 5 mm
- NL05 - SMA-0/8: Stone mastic asphalt with stones of maximum 8 mm
- NL06 - Brushed concrete: Brushed concrete
- NL07 - Optimized brushed down concrete: Optimized brushed concrete
- NL08 - Fine broomed concrete: Fine broomed concrete surface
- NL09 - Surface treatment: Road surface with extra treatment on the surface
- NL10 – Hard elements in herring-bone: Hard clinker elements in herring-bone
- NL11 – Hard elements not in herring-bone: Hard clinker elements not in herring-bone
- NL12 – Quiet hard elements: Silent elements (clinker stones)
- NL13 – Thin layer A: Thin layer low noise asphalt Type A
- NL14 – Thin layer B: Thin layer low noise asphalt Type B

Esta fuente será calculada en todas las categorías, excepto en las dos subcategorías de motocicletas y ciclomotores, por considerarse despreciable el ruido de rodadura frente al ruido de propulsión en este tipo de vehículos.

Se muestra a continuación la variación de potencia sonora emitida de la componente de ruido de rodadura para las tres categorías en las que es considerada:

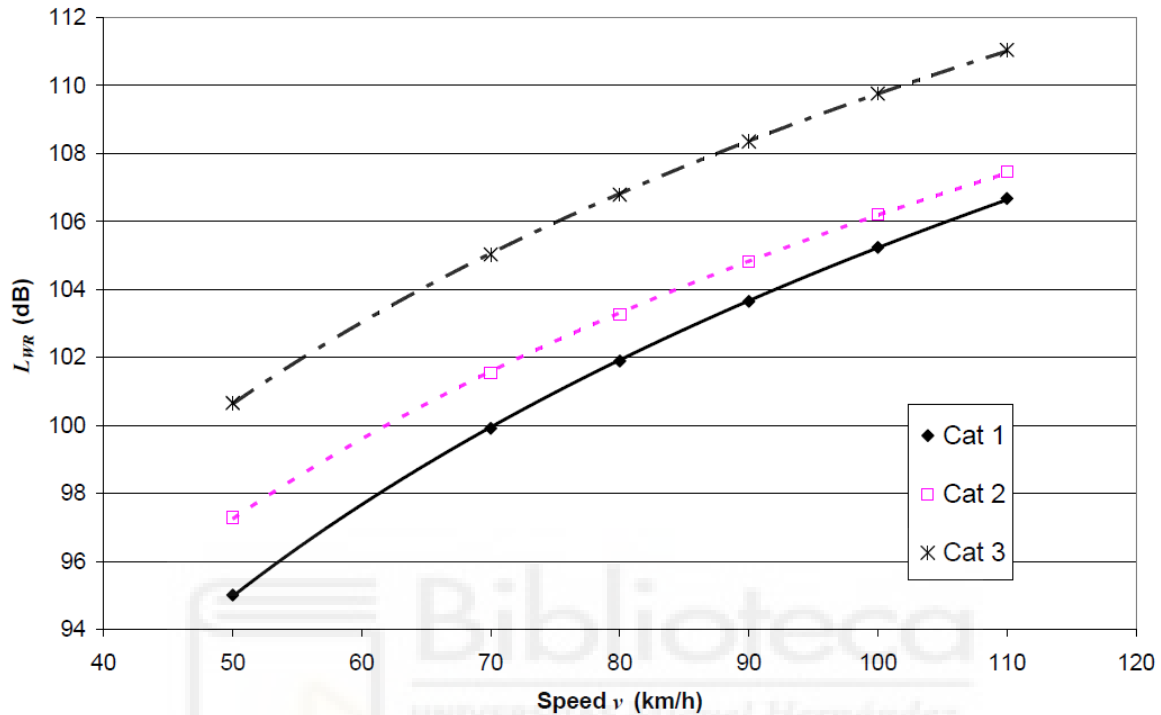


Figura 3 - Variación de la potencia sonora de ruido de rodadura según la categoría de superficie [5].

Obtenidos estos resultados, cabe resaltar la existencia de correcciones en las ecuaciones de obtención de la potencia de la fuente tanto para el uso de neumáticos con clavos como para una temperatura del aire diferente de la de referencia.

En el primero de los casos, cuando un porcentaje significativo de vehículos ligeros utilicen neumáticos provistos de clavos durante un periodo de varios meses al año, deberá tenerse en cuenta dicha corrección.

En el caso de temperaturas de aire diferentes de la temperatura de referencia $T_{ref}= 20^{\circ}\text{C}$ está comprobado que, para temperaturas más altas, el ruido de rodadura disminuye. [5]

2.2.1.3. Descripción del ruido como fuente lineal

Mientras que las fuentes reales se describen por varias fuentes puntuales, a efectos de cálculo, se pueden considerar fuentes de ruido tanto puntuales, como lineales, de superficie o de volumen. Tanto en sus respectivas ecuaciones como en sus simulaciones mediante software, se puede considerar cada fuente de ruido con el número de dimensiones que mejor asemeje el comportamiento de dicha fuente o la forma en la que han sido recogidos los datos.

Una vez determinada la fuente puntual de cada tipo de vehículo, se puede pasar a describir el ruido producido por el tráfico rodado dentro de una vía como una fuente lineal de sonido. Estas fuentes lineales se posicionan en el eje central de cada uno de los carriles que componen la vía, pudiéndose reducir las múltiples fuentes lineales dentro de una vía de varios carriles simplificándolas como una sola, situada en el carril exterior de la vía, o bien en el centro de ambas si se trata de una vía de solo dos carriles.

2.2.2. Descripción del modelo de propagación

En el caso de CNOSSOS, se establece el modelo de propagación mediante lo que se conoce como la atenuación “punto a punto”. Con este modelo de cálculo, para obtener el nivel de presión sonora equivalente $L_{eq,T,i}$, se suman de forma incoherente todas las trayectorias posibles de propagación.

Por lo tanto, se obtiene primero el nivel de presión sonora equivalente que es recibido desde la fuente $L_{eq,T,i}$:

$$L_{eq,T,i} = L_{Weq,T,i} + \Delta L_{geo} + \Delta L_{atm,i} + \Delta L_{excess,i} + \Delta L_{refl+dif,i} + \Delta L_{special,i} \quad (33)$$

Donde:

$L_{eq,T,i}$ es el nivel de presión sonora equivalente durante el periodo de observación T.

$L_{Weq,T,i}$ es la potencia sonora equivalente de la fuente durante el periodo de observación T.

ΔL_{geo} es la divergencia geométrica.

$\Delta L_{atm,i}$ es la absorción atmosférica.

$\Delta L_{excess,i}$ es el exceso de atenuación, como pueden ser diferencias de nivel debido al terreno, difracción y efectos meteorológicos.

$\Delta L_{refl+dif,i}$ es el término de corrección para la reflexión y la difracción debido a los obstáculos verticales.

$\Delta L_{special,i}$ es el término de corrección para casos especiales donde han de ser consideradas extensiones del método básico CNOSSOS-EU.

En los posteriores subcapítulos se describen algunas ecuaciones que permiten obtener dichos valores de atenuación:

2.2.2.1. Divergencia geométrica

Corresponde a la dispersión debida a la propagación esférica de la energía acústica emitida por una fuente puntual en campo libre. Dado que en este trabajo se consideran fuentes lineales de tráfico, se mostrará la ecuación adaptada a las fuentes lineales, donde se consideran segmentos de fuente lo bastante cortos como para que las variaciones de directividad de la fuente al recorrer dicho segmento puedan ser despreciadas.

$$\Delta L_{geo} = 10 \log \left[\frac{\Delta \theta}{4\pi R_{min}} \right] \quad (34)$$

Donde:

$\Delta\theta$ es el ángulo de visión

R_{\min} es la distancia más corta desde el receptor a la recta que contiene al segmento calculado

Estos parámetros se determinan utilizando coordenadas 3D.

2.2.2.2. Absorción atmosférica

La atenuación debido a la absorción atmosférica $\Delta L_{atm,i}$ depende de la frecuencia y debe calcularse para la frecuencia central de cada banda de tercio de octava. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$\Delta L_{atm,i} = -\alpha_{atm,i} \times R \times (1.0053255 - 0.00122622 \times \alpha_{atm,i} \times R)^{1.6} \quad (35)$$

Donde:

R es la distancia entre la fuente y el receptor

$\alpha_{atm,i}$ es el coeficiente de atenuación atmosférica en dB/m, dado en ISO 9613-1:1993 [10].

2.2.2.3. Exceso de atenuación

La componente de exceso de atenuación $\Delta L_{excess,i}$ viene determinada por la ecuación:

$$\Delta L_{excess,i} = 10 \times \log(10^{\Delta L/10} + 10^{\Delta L_{scat}/10}) \quad (36)$$

Esta ecuación depende de dos variables, donde:

ΔL es la parte de la onda sonora que alcanza al receptor por la difracción y la reflexión en el terreno.

ΔL_{scat} es la parte de la onda sonora que alcanza al receptor después de la dispersión por turbulencia atmosférica.

2.2.2.4. Atenuación por difracción

La atenuación por difracción ΔL_D depende del número de Fresnel y viene definida por la solución aproximada de Deygout:

$$\begin{aligned}
 \Delta L_D &= 0 && \text{Para } N_f < -0.25 \\
 \Delta L_D &= -6 + 12\sqrt{-N_f} && \text{Para } -0.25 \leq N_f < 0 \\
 \Delta L_D &= -6 - 12\sqrt{N_f} && \text{Para } 0 \leq N_f < 0.25 \\
 \Delta L_D &= -8 - 8\sqrt{N_f} && \text{Para } 0.25 \leq N_f < 1 \\
 \Delta L_D &= -16 - 10\log N_f && \text{Para } N_f \geq 1
 \end{aligned} \tag{37}$$

Con el número de Fresnel definido por:

$$N_f = \frac{2\delta}{\lambda} \tag{38}$$

Donde:

δ es la diferencia de longitud de trayectoria entre la trayectoria de rayos difractados [S-P-R] y la trayectoria directa [S-R].

λ es la longitud de onda.

Una vez calculadas todas las atenuaciones, se obtiene el valor de $L_{eq,T,i}$ para cada una de las trayectorias de propagación (N_p), y con estas se calcula mediante la suma incoherente de todas ellas el nivel de presión sonora equivalente $L_{eq,T}$ mediante la siguiente expresión:

$$L_{eq,T} = 10 \lg \sum_{n=1}^{N_p} 10^{\frac{L_{eq,T,i,n}}{10}} \quad (39)$$

2.3. Principales diferencias entre modelos

Pese a que ambos modelos presentan grandes similitudes, tanto en su procedimiento de evaluación y cálculo de ruido como en los resultados emitidos por ambos, existen varias diferencias que deberán ser tenidas en cuenta tanto a la hora de realizar las mediciones como en el momento de procesar la información y dar una lectura correcta a los valores obtenidos tras el cálculo.

2.3.1. Tipos de flujo en vías

En el método NMPB-ROUTES 2008 se establecen dos tipos de flujo de circulación para caracterizar las condiciones variables en régimen de circulación, siendo estos el tráfico fluido, típico de las vías con velocidad constante como carreteras, y el tráfico con flujo intermitente, típico de vías urbanas.

En el método CNOSSOS-EU, sin embargo, se elimina esta división de tipos de vías para pasar a caracterizar estas situaciones mediante una variable de corrección en función de la distancia hasta un cruce o rotonda en la vía, hecho que ocasionará aceleraciones y deceleraciones que modificarán el flujo y por tanto los valores de emisión de ruido.

2.3.2. Tipos de pavimento

Analizando los tipos de pavimento, se puede comprobar como el método CNOSSOS-EU es más específico y exigente a la hora de determinar tanto las características de la fuente como del entorno, si se hace referencia a los tipos de asfalto disponibles para realizar cálculos en el método NMPB-ROUTES:

- Categoría R1 bajo ruido (asfalto, en concreto de 0/6 y 0/10, siendo asfalto poroso 0/10)
- Categoría R2 ruido intermedio (mezcla fría, asfalto denso 0/10)
- Categoría R3 alto ruido (hormigón de cemento, tratamiento superficial 6/10 y 10/14, y asfalto concreto 0/14).

Se puede apreciar que, mientras que se establecen solo tres tipos de pavimento según el ruido que genera, en el caso del método CNOSSOS-EU se diferencia entre 15 tipos de superficies según su contribución a la generación de ruido:

- 0 - Reference: Dense asphalt concrete 0/11 – 0/16, stone mastic asphalt 0/11
- NL01 - 1-layer ZOAB: Porous asphalt
- NL02 - 2-layer ZOAB: Dual-layer porous asphalt
- NL03 - 2-layer ZOAB (fine): Dual-layer porous asphalt with fine top layer
- NL04 - SMA-0/5: Stone mastic asphalt with stones of maximum 5 mm
- NL05 - SMA-0/8: Stone mastic asphalt with stones of maximum 8 mm
- NL06 - Brushed concrete: Brushed concrete
- NL07 - Optimized brushed down concrete: Optimized brushed concrete
- NL08 - Fine broomed concrete: Fine broomed concrete surface
- NL09 - Surface treatment: Road surface with extra treatment on the surface
- NL10 – Hard elements in herring-bone: Hard clinker elements in herring-bone
- NL11 – Hard elements not in herring-bone: Hard clinker elements not in herring-bone
- NL12 – Quiet hard elements: Silent elements (clinker stones)
- NL13 – Thin layer A: Thin layer low noise asphalt Type A
- NL14 – Thin layer B: Thin layer low noise asphalt Type B

Esta mayor precisión a la hora de caracterizar el tipo de vía, además de sus pendientes y diferentes características, exige por una parte mayor trabajo a la hora de caracterizar el entorno en las mediciones de campo, pero proporciona una mayor precisión a la hora de calcular los valores de ruido.

2.3.3. Categorías de vehículos

Otra de las principales diferencias entre el método NMPB-ROUTES y el CNOSSOS es el número de categorías que determinan los tipos de vehículos que circulan por la vía. Mientras que en el modelo francés se establecen 2 tipos de vehículos (Tabla 2), en el caso del modelo CNOSSOS se pueden diferenciar entre 5 tipos de vehículos, además de una categoría futura preparada para acoger a vehículos híbridos, eléctricos o de nuevas tecnologías (Tabla 7).

De nuevo, esta caracterización más específica obligará a realizar mediciones de campo con mayor trabajo de análisis, para conseguir una mayor precisión a la hora de calcular los vehículos contabilizados.

2.3.4. Resumen y consecuencias de las diferencias

Por lo tanto, al exigir una mayor clasificación y especificación a la hora de recogida de datos y sus cálculos, se producirán cambios igualmente en los resultados obtenidos por el nuevo método CNOSSOS-EU. Sin embargo, a la hora de renovar los mapas estratégicos de ruido se requiere tener una referencia de las desviaciones entre el antiguo método francés utilizado en España y el nuevo método.

Para evaluar y explicar estas diferencias, en el presente trabajo se simularán varias zonas del casco urbano de la Ciudad de Elche mediante los dos métodos, utilizando para su cálculo el software IMMI. De este modo se podrá obtener una medida de las desviaciones con respecto al anterior Mapa Estratégico de Ruido, realizado todavía con el método NMPB-ROUTES 2008, y el nuevo mapa, calculado con el método CNOSSOS.

De este modo se podrá prestar atención a los efectos que las nuevas variables aplicadas puedan producir en los indicadores asociados a los Mapas Estratégicos de Ruido, tales como el de población expuesta.

3. Caso de estudio

En el presente capítulo 3 se expondrán los procedimientos y resultados obtenidos para realizar el caso práctico que permita determinar, de manera cuantitativa, las diferencias y por lo tanto los resultados entre los dos métodos de medición de ruido que se analizan.

Se empezará describiendo el procedimiento utilizado para la recogida de datos, haciendo una breve mención al instrumental utilizado, el proceso de medición y las consideraciones a tener en cuenta entre los dos métodos, para posteriormente exponer brevemente los valores obtenidos tras las mediciones de campo.

En el segundo apartado del capítulo se explicará el proceso de importación de un mapa urbano en formato digital a un software de simulación acústica, en el caso de este trabajo se ha hecho uso de IMMI, un software dedicado al cálculo del ruido y la predicción de la contaminación acústica. Se expondrá brevemente el proceso de preparación del mapa digital y el posterior volcado de datos recogidos en campo al mapa digital.

El tercer apartado de este capítulo describirá el proceso de calibrado del mapa digital que, mediante la modificación de parámetros tanto del tráfico contabilizado como del entorno donde se han realizado las mediciones, tratará por un lado de asemejar en el mayor grado posible el modelo digital al modelo real, y por otro lado el corregir las desviaciones del nuevo modelo digital mediante la constante iteración de las simulaciones y correcciones de dichos parámetros.

Por último, en el cuarto apartado se expondrán las simulaciones que permiten obtener una previsión de los valores de ruido emitidos por el tráfico rodado introducido en el modelo digital. Se mostrarán resultados de valores de ruido tanto por áreas dentro de todo el mapa analizado, como en número y porcentaje de población expuesta a determinado rango de ruido.

3.1. Proceso de recogida de datos

Determinar el estado actual del nivel de ruido en el entorno es uno de los primeros pasos a la hora de elaborar un mapa estratégico de ruido. Para ello es necesario realizar un proceso de recogida de datos mediante mediciones de campo.

Estas mediciones se realizan mediante instrumental especializado, a continuación se detallan los principales elementos utilizados en dicho proceso de recogida de datos:

3.1.1. Sonómetro

Para las mediciones de campo se utilizaron dos sonómetros facilitados por el Laboratorio de Ingeniería Acústica y Vibraciones, concretamente los modelos 2260 y 2250 de Brüel & Kjaer.



*Figura 4 - Sonómetros 2260 y 2250 respectivamente de Brüel & Kjaer.
Fuente [11].*

Ambos modelos se calibraron a diario a la hora de hacer las mediciones, para la configuración, se configuraron de modo que realizaran medidas continuas limitadas a 10 minutos, segmentando en periodos más cortos de tiempo la medida para poder editar y eliminar alguno de ellos posteriormente, principalmente debidos a algún ruido fuera de lo común que pudiera invalidar la medida.

Como complementos a estos sonómetros, se utilizaron trípodes para mantenerlos en posición estática durante las medidas y pantalla antiviento para medida en exterior. Se muestra a continuación el sonómetro correctamente instalado para tomar una medición de ruido:



Figura 5 - Ejemplo de posicionamiento del sonómetro durante una medición.

En el ANEXO II se muestran varias imágenes con posicionamientos del sonómetro correspondientes a puntos de las zonas analizadas, tanto en franja de día como de tarde.

3.1.2. Software de volcado de datos

Una vez recogidos los datos de campo mediante el sonómetro, se utiliza un software de volcado de datos para importar los valores medidos al ordenador, este software es generalmente gratuito y proporcionado por la marca del sonómetro. A continuación se muestra el software Noise Explorer Type 7815 E, utilizado para importar y gestionar los datos recogidos con el sonómetro Brüel & Kjaer 2260.

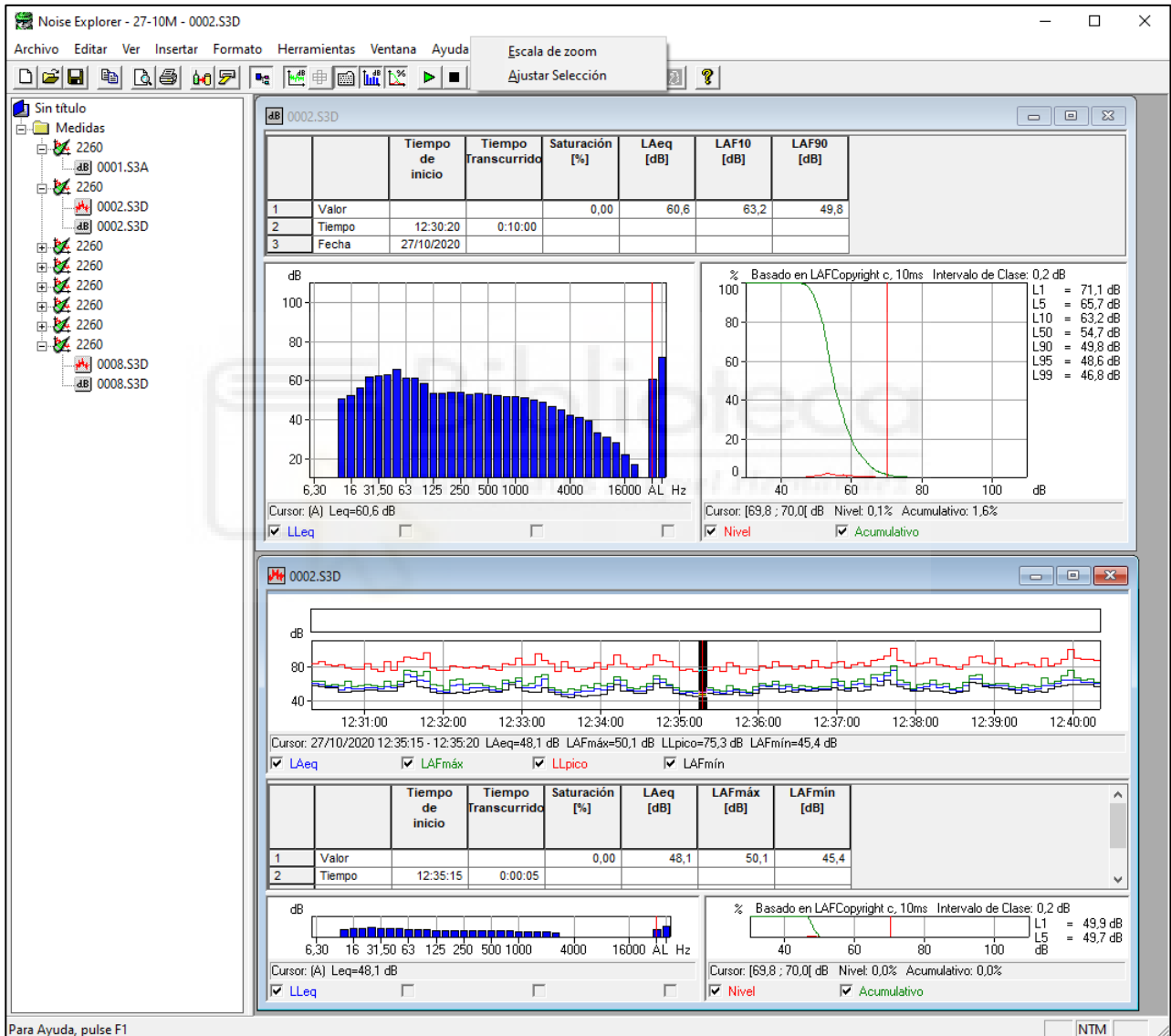


Figura 6 - Software Noise Explorer Type 7815 E.

Tras revisar los datos con este programa, se pueden exportar en formato de tabla de

cálculo para su posterior utilización.

3.1.3. Estación meteorológica portátil

Dado que las variables meteorológicas del viento, temperatura y humedad relativa pueden influir en la transmisión del sonido en el aire, se hace necesaria la utilización de una pequeña estación portátil para poder determinar de forma aproximada estos valores, ya que es necesario tomar estas medidas en el mismo momento y lugar donde se realiza la medición. En el caso del viento, las medidas no son válidas si su velocidad supera los 5 m/s.

Se muestra a continuación un instrumento de este tipo similar al utilizado en las mediciones de campo de este trabajo:

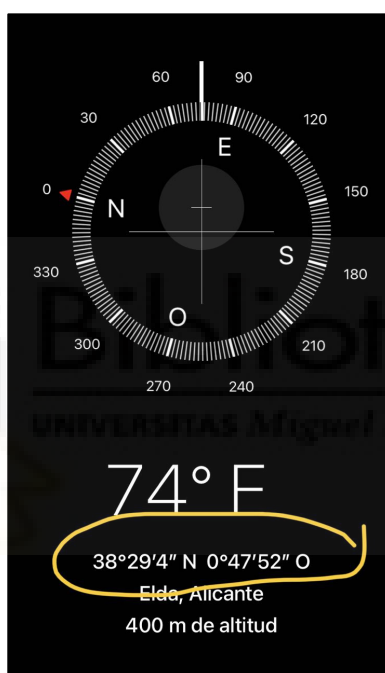


Figura 7 - Estación meteorológica portátil. Fuente [11].

3.1.4. GPS y cronómetro utilizando Smartphone

Del mismo modo que con la estación meteorológica, se puede utilizar cualquier smartphone con cronómetro y aplicación de brújula para poder determinar las coordenadas GPS del punto donde se sitúa el receptor (sonómetro) y medir los tiempos de medida.

A continuación se muestra la captura de pantalla de la aplicación brújula, que marca las coordenadas aproximadas que serán apuntadas en las fichas de medida para determinar la posición del receptor:



*Figura 8 - Captura de pantalla de smartphone con información de coordenadas GPS.
Fuente [Apple iPhone]*

3.1.5. Mapas de zona sectorizados

Con la finalidad de distribuir de forma más o menos uniforme los puntos de medida de una zona a estudiar, se dibuja un sistema de coordenadas XY nombrados mediante números y letras sobre el plano, de forma que se puedan determinar los puntos de medida aproximados, al mismo tiempo que se les asigna el nombre correspondiente a sus coordenadas en dicha rejilla.

Una vez determinados los puntos, se realizan mediciones de campo en las franjas horarias necesarias para el estudio L_{DAY} (7:00 – 19:00), $L_{EVENING}$ (19:00 – 23:00) y L_{NIGHT} (23:00 – 7:00), aunque en el caso de este trabajo las medidas realizadas en la franja nocturna “ L_{NIGHT} ” no se pudieron realizar debido a las restricciones de movilidad existentes en el periodo en el cual se realizaron las mediciones de campo.

La siguiente ficha corresponde a una de las zonas analizadas en las mediciones de campo realizadas para el mapa estratégico de ruido de Elche:



Figura 9 – Ficha utilizada de la zona de Plaza Barcelona y Carrús con los puntos de medida.

3.1.6. Fichas de recogida de datos

Con excepción de los datos recogidos por el sonómetro, que no se podrán extraer de manera completa hasta que se introduzcan en el software de volcado de datos, el resto de las medidas obtenidas del instrumental descrito en los puntos anteriores queda recogida in situ en las fichas de medida.

Además de estos datos, las fichas sirven para anotar si se trata de la medida de día, tarde o noche, el contabilizado de vehículos y su categoría durante la medición, así como el volumen de peatones en la vía, las actividades cercanas que puedan influir en el nivel de ruido, la existencia de algún edificio o zona sensible al ruido (hospitales, centros docentes, etc.) y cualquier anomalía en la medida que deba ser observada posteriormente en los niveles de ruido recogidos por el sonómetro al introducirlo en el software de importación de datos.

Se muestra a continuación una ficha de medida donde se pueden observar estos datos recogidos:

FICHA DE MEDIDA DE CORTA DURACIÓN						
PROYECTO			MER ELCHE 2020			
ZONA DE MEDIDA		Pa. Barcelona y Carús				
PUNTO DE MEDIDA		3 E				
LOCALIZACIÓN (Calle, vía, edificio, nº, ...)		2V-8615				
GEOLOCALIZACIÓN (Indicar coordenadas empleadas: latitud-longitud, UTM, ...)		3° 16' 49" N 0° 42' 22"				
FECHA Y HORA INICIO		10/11/20	10:29	DURACIÓN MEDICIÓN	10 minutos	
TÉCNICO QUE REALIZA MEDICIÓN		MARIO				
CALIBRAR SONÓMETRO		<input checked="" type="checkbox"/>		VALOR CALIBRACIÓN	43,9 dB	
VERIFICAR CONFIG. SONÓMETRO		<input checked="" type="checkbox"/>		Sonómetro modelo: 2260		
CARPETA ALMACENAMIENTO		10x11M/07				
ALTURA (m)	1,5	DISTANC. FACHADA (m)			DIST. EJE VIAL (m)	3,5
FOTO	<input checked="" type="checkbox"/>		GRABADORA	No		
CONDICIONES AMBIENTALES MEDIDA						
TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	PRESIÓN (mbar)		VIENTO (m/s)		
23,8	46,4			0,5		
TIEMPO DE CONTEO TRÁFICO (minutos): 10			- Afluencia de gente: 3			
- Ligeros (turismos y furgonetas): 48 			- Actividades y ocupación: Instituto			
- Semipesados (camiones pequeños > 3500kg): 4 						
- Pesados (tráiler y autobuses): 0						
- Motocicletas y ciclomotores: 3 						
INCIDENCIAS Vía 4 carriles, contabilizados los 2 más cercanos						

Figura 10 - Ficha de medida de corta duración.

3.2. Creación del mapa digital

Con la finalidad de realizar todas las simulaciones y cálculos necesarios para obtener las conclusiones de un mapa estratégico de ruido, es preciso disponer de un modelo digital fiel a la disposición física de los elementos urbanos de una zona, que permita, mediante un software dedicado, simular el comportamiento de las ondas de ruido a través del espacio y recrear las reflexiones sobre las distintas superficies.

Por ello, a partir de modelos de mapas vectoriales digitales se importa una zona sobre la cual se simulan primero las mediciones realizadas, para más tarde calcular datos como valores de ruido o cantidad de población expuesta a distintos niveles.

3.2.1. Modelos de mapa digitales

Dado que existen catastros y diferentes mapas realizados en formato digital, se utiliza un modelo digital con relieve obtenido del Centro de Descargas del organismo autónomo Centro Nacional de Información Geográfica, perteneciente al Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.



Centro de Descargas
ORGANISMO AUTÓNOMO CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Bienvenido | Welcome | Bienvenue

Productos | Buscar | Licencias de uso | Preguntas frecuentes | Ayuda | Novedades

MODELOS DIGITALES DE ELEVACIONES

Información altimétrica que representa el relieve del territorio nacional, y en el caso de los datos Lidar, también de los elementos que sobre él se encuentran. Cada año cubre una superficie diferente del territorio nacional (ver las superficies voladas cada año en <http://pnoa.ign.es/estado-del-proyecto-lidar>).

 <p>LIDAR 1ª COBERTURA (2008-2015)</p>	<p>Descripción: ficheros digitales de nubes de puntos LIDAR con cobertura Nacional coloreados con color verdadero (RGB) o con infrarrojo (IRC).</p> <p>SGR: ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84). Proyección UTM en el huso correspondiente. Alturas ortométricas.</p> <p>Ud. descarga: superficies de</p>	 <p>LIDAR 2ª COBERTURA (2015-Actualidad)</p>	<p>Descripción: ficheros digitales de nubes de puntos 3D obtenidos con LIDAR y de ámbito Nacional coloreados con color verdadero (RGB) o con infrarrojo (IRC).</p> <p>SGR: ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84). Proyección UTM en el huso correspondiente. Alturas</p>	 <p>LIDAR 1ª COBERTURA</p>	<p>Mapa LIDAR 1ª Cobertura</p> <p>Descripción: Modelo Digital de Superficies sombreado al que se le han superpuesto dos capas procedentes de la rasterización de las clases edificación y vegetación de las nubes de puntos en formato .LAS y una tercera de hidrografía.</p> <p>SGR: WGS84, proyección Web Mercator (EPSG:3857).</p> <p>Ud. descarga: hoja del MTN50</p> <p>Formato: ECW</p>
--	---	--	---	--	--

Figura 11 - Web oficial del Centro de Descargas del organismo autónomo Centro Nacional de Información Geográfica [12].

A partir de este modelo, se comprueban las capas existentes y se prepara para importar al software de modelado, seleccionando las capas que se desean trasladar al siguiente modelo.

3.2.2. El Software IMMI

IMMI es un software para el cálculo de ruido en el exterior, contaminación acústica en las áreas de trabajo y también la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Permite la predicción de ruido y generación de mapas de ruido, es decir, el cálculo de niveles de ruido procedente del tráfico rodado en torno a aeropuertos, zonas industriales, líneas férreas y autopistas.

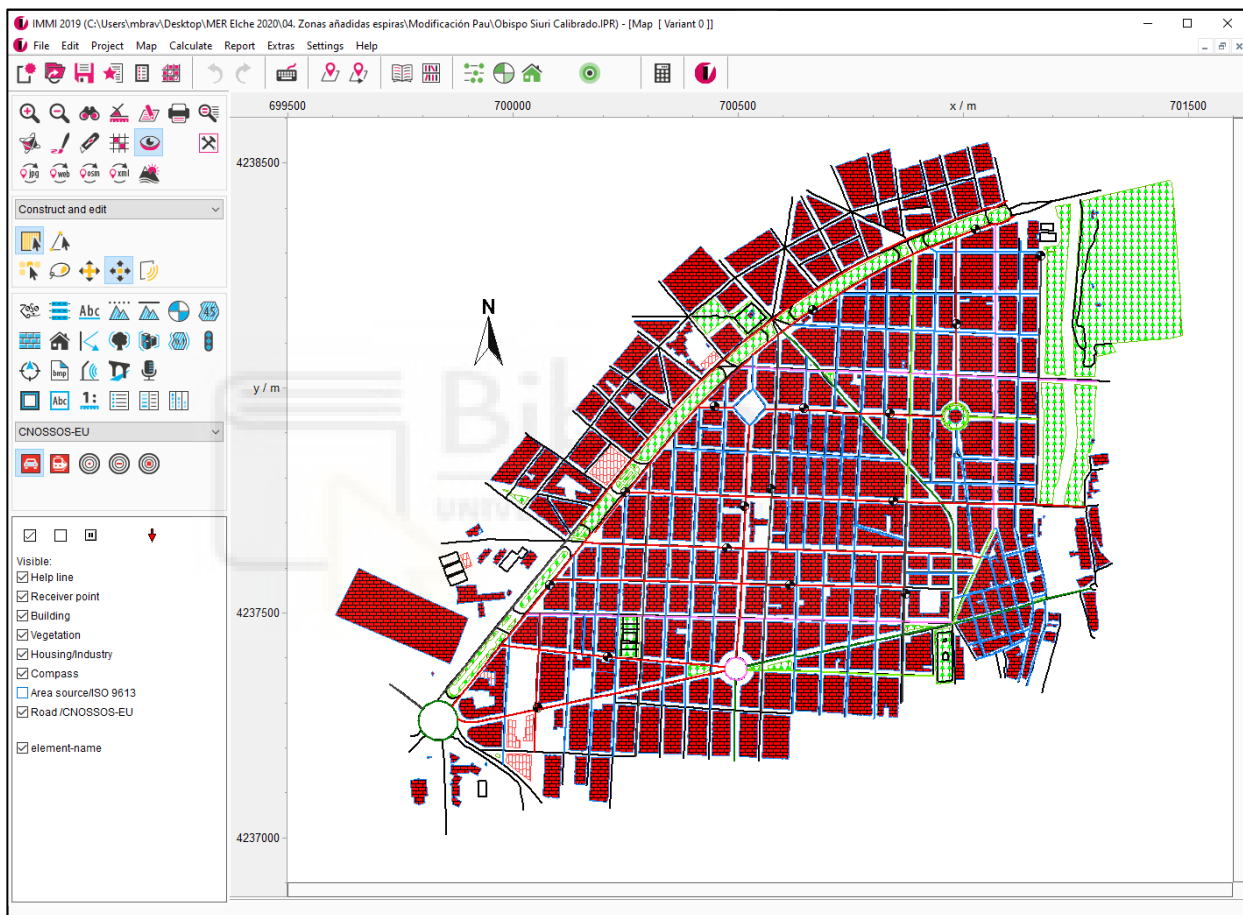


Figura 12 - Captura de pantalla de la zona Obispo Siurí, donde se pueden apreciar los distintos puntos receptores (círculos blancos y negros) situados en las vías dónde se realizaron las mediciones de campo.

Este software utiliza como modelos de propagación y predicción los métodos estipulados en la Directiva de la Unión Europea, permitiendo utilizar, entre muchos otros, los modelos NMPB-ROUTES y CNOSSOS para ruido de carretera, y el modelo ISO 9613-2 utilizado en este trabajo para introducir áreas generadoras de ruido de fondo. Adicionalmente incluye numerosas normas locales de los países europeos.

Es capaz de trabajar con múltiples reflexiones de hasta orden 25, considerando además el cálculo de la difracción sonora que se produce en los bordes debido a irregularidades del terreno y en los bordes de cada elemento incluido en el mapa.

Para la realización del mapa de ruido y los cálculos realizados para este trabajo, se ha trabajado principalmente sobre los apartados del software de gestión de capas, ventanas de edición de vías y la ventana de edición general de elementos. En esta última es donde se pueden filtrar, seleccionar y modificar en grupo vías, edificios, puntos receptores, etc., lo que ha permitido modificar el tipo de vías, calculadas para el Mapa Estratégico de Ruido oficial mediante el método CNOSSOS, al tipo de vías para un cálculo mediante el método NMPB-ROUTES.

3.2.3. Importación del mapa y preparación de zonas

Una vez descargado el mapa en su versión digital, debe ser importado a IMMI, donde se editarán las diferentes capas del mapa y se preparará para introducir los valores de las mediciones de campo realizadas. Se muestra a continuación el modelo digital con la zona de estudio analizada durante el proceso de edición:

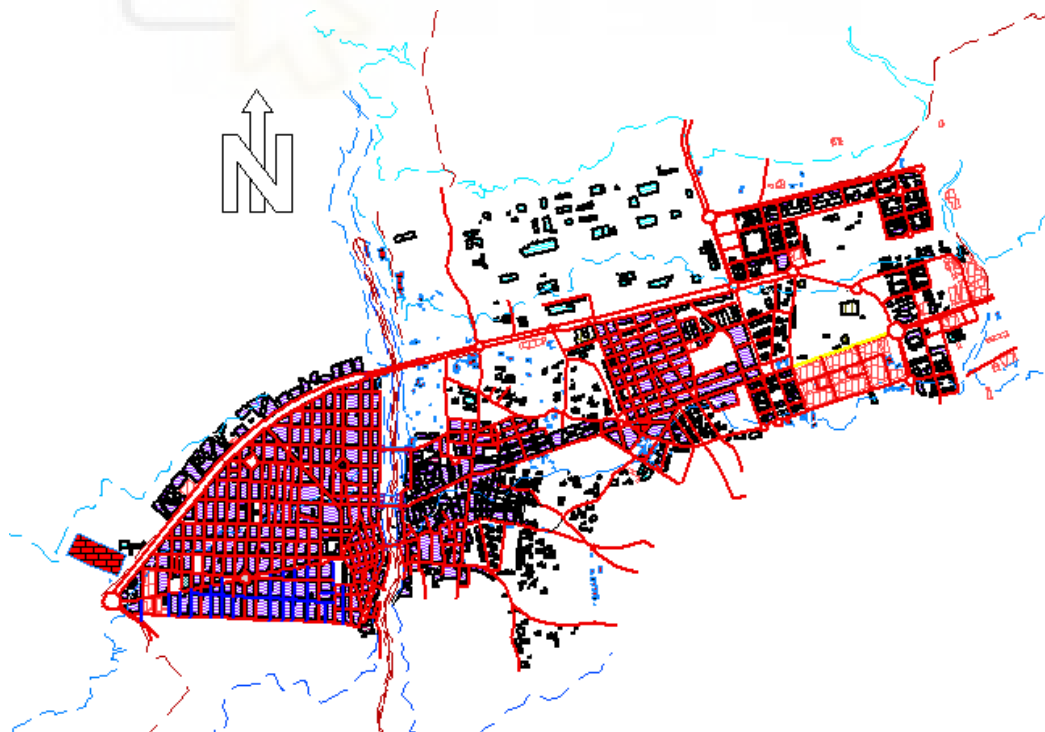


Figura 13 - Ventana general de IMMI con la zona completa estudiada.

Para el proyecto de actualización del Mapa Estratégico de Ruido de Elche, se dividió el núcleo urbano en diferentes zonas, permitiendo realizar las mediciones y calibraciones de forma simplificada para conseguir de este modo un cálculo de las simulaciones más ligero y un proceso de introducción de datos más ordenado.

Por lo tanto, vez aislada una zona, se procede a editar sus elementos para optimizar el proceso de introducción de datos y cálculos.

El primer paso es eliminar elementos geométricos o líneas auxiliares, simplificando sobre todo los polígonos correspondientes a los edificios, trabajo que posteriormente servirá para atribuir a cada fachada virtual de dichos elementos un número determinado de habitantes por metro cuadrado.

Una vez el mapa está completamente limpio, se procede a dibujar las vías. Dado que el proyecto original se calculó mediante el método CNOSSOS, se dibujan líneas de tipo Road CNOSSOS. El tipo de elementos dibujados es primordial, puesto que los diferentes atributos necesarios para cada tipo de elemento en estos mapas de ruido se introducen dentro de la ventana de diálogo que proporciona cada uno de ellos, como ejemplo, al dibujar una línea de tipo Road CNOSSOS, cuando se edite, la ventana proporcionará casillas para seleccionar los tipos de asfalto proporcionados por CNOSSOS, el contabilizado de vehículos según la clasificación de dicho método, etc. Siendo diferentes las opciones ofrecidas para una vía de tipo NMPB-ROUTES.

Se muestran a continuación las ventanas de edición respectivamente para cada uno de los dos métodos estudiados:

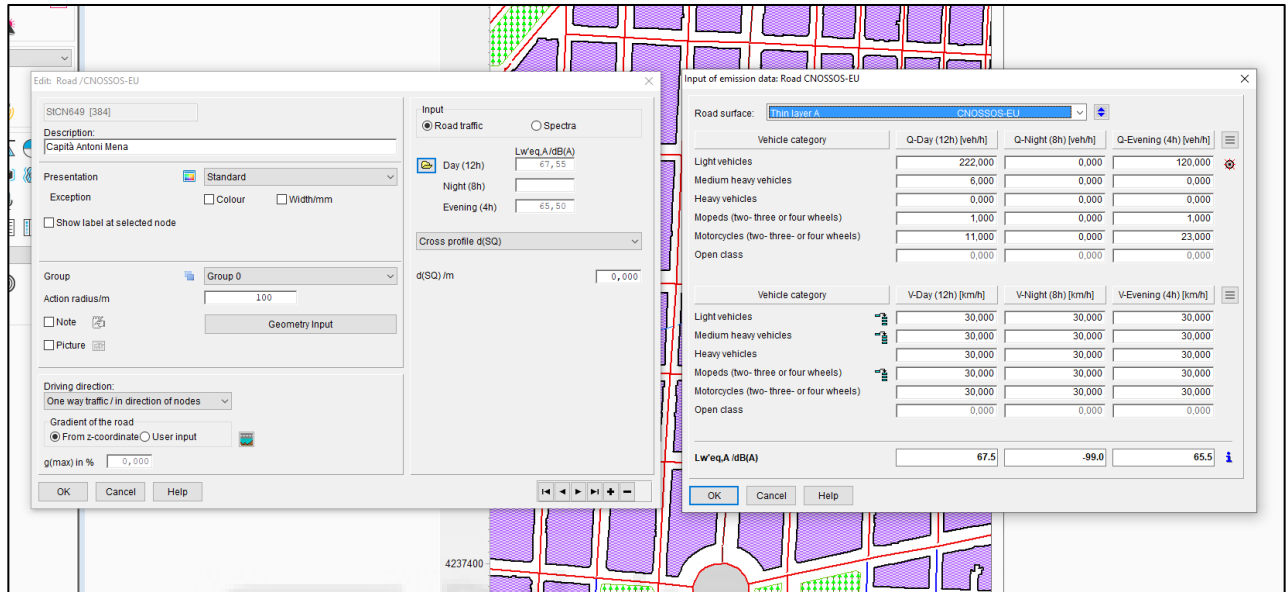


Figura 14 - Ventanas de edición general y de edición de contabilizado de vehículos y su velocidad para la vía tipo CNOSSOS correspondiente a la calle Capità Antoni Mena de Elche.

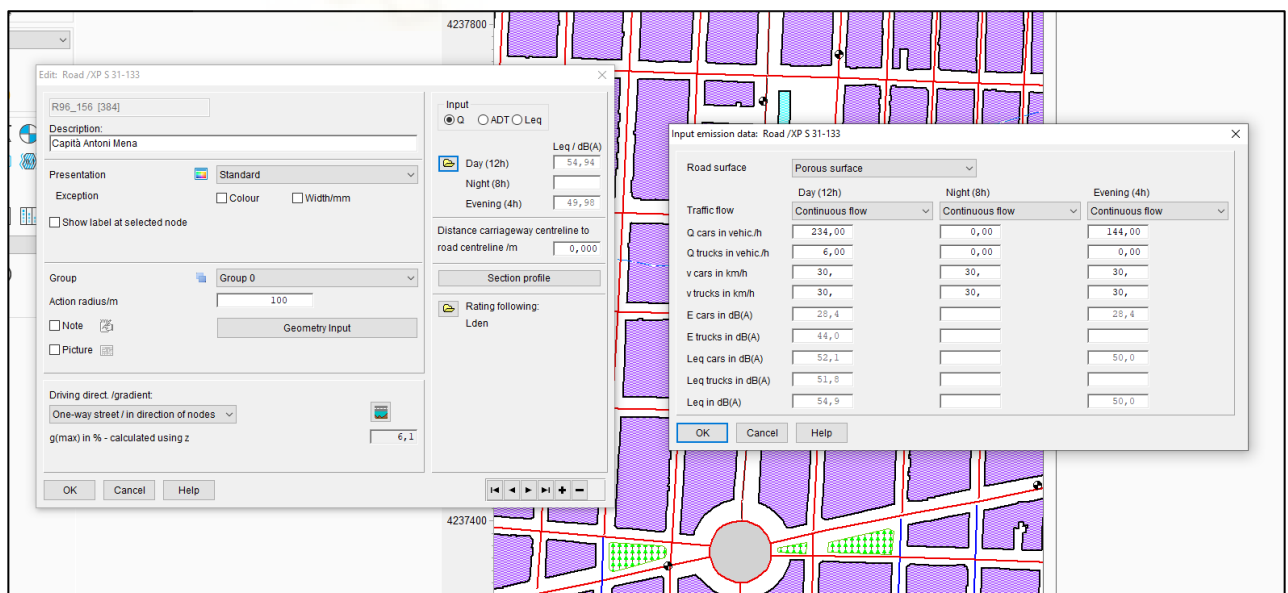


Figura 15 - Ventanas de edición general y de contabilizado y velocidad para la misma vía, en este caso corresponde a una vía tipo NMPB-ROUTES.

Tal y como se puede apreciar, los dos tipos de vías presentan ventanas de edición ligeramente diferentes, apreciándose diferencias sobre todo en los menús de introducción de contabilizado de vehículos, puesto que pese a ser los dos equivalentes en cuanto al contabilizado total, se encuentran distribuidos de forma distinta según su categorización.



3.3. Importación de valores

3.3.1. Importación de valores recogidos para el método CNOSSOS

Al mismo tiempo que se prepara el modelo digital de las zonas estudiadas, se realizan tablas con los datos recogidos en las medidas de campo, estableciendo, para cada punto de medida designado en la rejilla del mapa de zona, la calle donde se realiza la medida.

Para la correspondiente medida en horario de día y de tarde, se anota además el archivo de sonómetro de dicha medida (donde además aparece la fecha), el contabilizado de cada tipo de vehículos (multiplicando la cantidad por 6, ya que los valores contabilizados deben corresponder a 1 hora y se midieron solo durante 10 minutos) y los valores de ruido medidos en el sonómetro, incluyendo los percentiles 10 y 90.

Como se puede observar en la tabla, la clasificación de los vehículos corresponde a la clasificación establecida por el método CNOSSOS, ya que toda la actualización del Mapa Estratégico de Elche se ha realizado mediante el nuevo método. Sin embargo, es posible obtener los datos de una medida preparada para un análisis mediante el método NMPB-ROUTES puesto que simplemente será necesario simplificar las 5 categorías de vehículos en las categorías de ligeros y pesados.

Tabla 8 - Tabla utilizada para la recopilación de datos de medidas de campo.

ZONA	UNIVERSIDAD	MEDICIÓN MAÑANA										MEDICIÓN TARDE							
		Archivo M	LIGEROS	SEMIP.	PESADOS	MOTOS 49	MOTOC.	LReq M	LAF10 M	LAF90 M	Archivo T	LIGEROS	SEMIP.	PESADOS	MOTOS 49	MOTOC.	LReq T	LAF10 T	LAF90 T
1J	CV-86	30-11M-006	1060	42	24	1	17	72,50	76,60	61,20	30-11T-006	756	6	0	1	23	72,70	76,50	61,50
2G	CV-8615	30-11M-007	1716	36	18	1	17	77,20	80,10	63,40	30-11T-007	1512	6	0	1	17	74,70	79,10	61,30
2I	Ptda. Altabix	30-11M-004	84	0	0	0	0	59,40	58,60	48,40	30-11T-004	60	0	0	0	0	61,60	60,40	51,10
3B	CV-8615	01-12M-003	1800	24	6	1	17	74,60	79,30	62,50	01-12T-003	2160	18	0	2	34	75,60	79,90	65,50
3D	CV-8615	01-12M-002	1512	12	18	1	17	73,20	76,40	59,40	01-12T-002	2400	0	0	3	51	75,00	77,90	66,50
3F	Universidad	30-11M-009	42	0	0	0	0	56,50	56,40	44,80	30-11T-009	48	0	0	0	6	62,00	61,00	50,40
3G	Universidad - Altabix-3	30-11M-008	120	6	0	0	0	61,10	64,10	49,30	30-11T-008	96	0	0	0	0	60,90	62,50	49,70
3J	Av. UNESCO	30-11M-005	1104	12	0	1	23	69,20	73,20	54,70	30-11T-005	804	0	0	1	23	70,70	75,30	57,90
4C	Cami del pantà - Altabix-3	01-12M-001	564	30	0	1	29	66,40	70,50	50,30	01-12T-001	1068	6	6	2	34	67,40	70,70	56,50
4H	Universidad	30-11M-010	0	0	0	0	0	46,10	47,60	42,90	30-11T-010	0	0	0	0	0	52,40	51,00	46,90
4I	Universidad	30-11M-003	24	0	0	0	6	52,60	50,80	46,30	30-11T-003	138	0	0	1	11	60,00	61,90	50,50
5D	Universidad	01-12M-004	0	0	0	0	0	52,30	52,90	51,70	01-12T-004	0	0	0	0	0	53,20	53,90	52,20
5F	Universidad	01-12M-005	0	0	0	0	0	48,70	50,80	45,80	01-12T-005	0	0	0	0	0	49,70	51,80	45,00
5I	Universidad	30-11M-001	18	0	0	0	0	57,20	61,70	48,60	30-11T-001	6	0	0	0	0	52,60	53,00	48,90
5J	Av. UNESCO	30-11M-002	840	0	0	1	29	63,80	67,50	55,40	30-11T-002	1680	0	0	1	23	63,90	67,20	56,10
6E	Universidad	01-12M-007	24	0	0	0	0	50,60	51,90	44,10	01-12T-007	12	0	0	0	0	49,40	50,10	46,50
6F	Universidad EDI	01-12M-006	72	0	0	0	0	53,80	56,10	46,90	01-12T-006	36	0	0	0	0	52,30	53,20	48,80

Una vez se han reunido todos los datos de una zona, se pueden pasar al modelo digital. Para ello, dentro de IMMI se localiza cada punto receptor y se comprueba la vía sobre la que se ha realizado la medida, en este caso pueden aparecer dos particularidades, que la medida se haya realizado cerca de un cruce de vías, por lo que es importante introducir el contabilizado en la vía correcta. La segunda particularidad es que haya una vía con más de un punto receptor, como es el caso de la CV-8615 de la tabla, en estos casos se debe sectorizar la vía para aplicar a cada zona el contabilizado de vehículos correspondiente.

3.3.2. Adaptación e importación de datos NMPB-ROUTES

A pesar de que este apartado se muestra antes del subcapítulo de calibración, los modelos digitales fueron previamente calibrados y comprobados antes de exportar y convertir los valores contabilizados para el modelo CNOSSOS al modelo francés, esto permitió, entre otras ventajas, segmentar las distintas vías no contabilizadas según el tipo de vía y su volumen de tráfico y poder estimar un número de vehículos estimativo a cada una de las vías tipo no medidas.

Dado que las medidas de campo han sido tomadas para introducir los datos en el formato del método CNOSSOS, las fichas presentan las cuatro categorías de vehículos existentes en este método, por lo que el primer paso para poder utilizar estos datos recogidos en el método NMPB-ROUTES es reunir estas cuatro categorías en las únicas dos presentes en el modelo francés: Ligeros y Pesados.

Tabla 9 - Tabla utilizada para la conversión de contabilizados CNOSSOS en NMPB-ROUTES.

DI	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	CE	CF	CG	CH
Ros surface	Q_K1_1	Q_K1_2	Q_K1_3	Q_K2_1	Q_K2_2	Q_K2_3	Q_K3_1	Q_K3_2	Q_K3_3	Q_mopeds/vch	Q_mopeds/vch	Q_mopeds/vch	Q_K15_1	Q_K15_2	Q_K15_3	Q_K16_1	Q_K16_2	Q_K16_3	V_K11_1	LIGEROS D	LIGEROS N	LIGEROS E	PESADOS D	
1	654	0	726	24	0	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	0	0	30	272	0	813	0
2	27	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	27	0	27	0
3	60	0	36	12	0	3	0	0	0	0	0	0	0	12	9	9	0	0	0	30	72	9	45	0
4	498	0	512	48	0	36	17	0	19	6	0	6	36	0	66	0	0	0	0	30	540	0	584	0
5	27	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	27	0	27	0
6	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	3	0	3	0
7	246	0	450	18	0	6	0	0	6	0	0	6	30	0	48	0	0	0	0	30	282	0	304	0
8	78	78	78	6	6	6	0	0	0	0	0	6	12	12	12	0	0	0	0	30	84	90	90	0
9	89	0	108	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	6	0	0	0	0	30	98	0	114	0
10	78	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	78	0	66	0
11	89	108	108	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	6	0	0	0	0	30	98	114	114	0
12	60	36	36	12	3	3	0	0	0	0	0	0	12	9	9	0	0	0	0	30	72	45	45	0
13	1188	0	1143	45	0	45	18	0	18	9	0	9	72	0	81	0	0	0	0	50	1269	0	1233	0
14	78	0	78	6	0	6	0	0	0	0	0	0	6	0	12	0	0	0	0	30	84	0	90	0
15	60	0	36	12	0	3	0	0	0	0	0	0	12	9	9	0	0	0	0	30	72	0	45	0
16	89	0	108	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	6	0	0	0	0	30	98	0	114	0
17	1116	1296	1296	63	54	54	27	18	18	9	9	9	99	108	108	0	0	0	0	50	1224	1413	1413	0
18	120	0	252	6	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	32	0	0	0	0	30	144	0	264	0
19	124	0	348	36	0	24	6	0	6	6	0	6	30	0	30	0	0	0	0	30	362	0	384	0
20	60	36	0	12	3	0	0	0	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	30	72	45	0	0
21	654	726	0	24	12	0	6	6	0	6	9	0	60	78	0	0	0	0	0	30	720	813	0	0
22	258	0	456	36	0	12	12	0	0	0	0	0	36	0	24	0	0	0	0	50	324	0	480	0
23	1116	0	1296	63	0	60	27	0	24	9	0	9	99	0	108	0	0	0	0	50	1224	0	1413	0
24	246	0	450	18	0	6	0	0	6	0	0	6	30	0	48	0	0	0	0	30	282	0	304	0
25	89	108	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	6	0	0	0	0	30	98	114	0	0
26	60	36	0	12	3	0	0	0	0	0	0	0	12	9	0	0	0	0	0	30	72	45	0	0
27	89	108	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	6	0	0	0	0	30	98	114	0	0
28	89	108	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	6	0	0	0	0	30	98	114	0	0
29	89	108	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	6	6	0	0	0	0	30	98	114	0	0
30	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0	30	0
31	692	746	0	30	26	0	11	9	0	6	6	0	37	17	0	0	0	0	0	50	758	829	0	0

Tal y como se puede apreciar en la tabla de cálculo, exportando los datos de todas las vías de IMMI introducidas para el método CNOSSOS (celdas en blanco), se pueden simplificar los tipos de vehículos, reuniendo para la medida de día, noche y tarde respectivamente, los ligeros y motocicletas en vehículos ligeros (celdas en verde) y los pesados y semipesados en la categoría de vehículos pesados de NMPB (celdas en naranja).

Al mismo tiempo, en el modelo digital de IMMI se selecciona el tipo de superficie más similar a la superficie de asfalto seleccionada en el modelo CNOSSOS (Thin layer A).

Desde el menú de elementos de IMMI, se pueden seleccionar todas las vías en un nuevo proyecto para convertirlas de tipo Road CNOSSOS a Road NMPB-ROUTES. Al hacerlo se pierden los datos de contabilizados de vehículos y el resto de parámetros, por lo que es necesario volver a introducir de forma manual todos los datos recogidos y adaptados al modelo francés.

3.3.3. Clasificación del resto de vías

Tal y como se puede apreciar al observar el número de puntos receptores situados en los mapas de zonas de medición, mostrado en el apartado 3.2.3., existe un gran número de vías en las cuales no se ha realizado una medición in situ del contabilizado de vehículos ni del nivel de ruido. Es necesario por tanto estimar el número de vehículos aproximado que circula por dichas vías para poder estimar el ruido generado por los mismos. Para ello, se puede hacer uso de otros datos que reflejen el contabilizado aproximado de cada vía, como es el caso de los datos recogidos por las espiras instaladas en numerosas vías que ayudan a conocer el número aproximado de vehículos que circulan por encima de ellas.



Figura 16 - Espiras instaladas la vía para el contabilizado de vehículos.

Estos dispositivos recogen de forma continua el flujo de vehículos en un punto concreto, permitiendo tanto comparar las mediciones realizadas en los puntos receptores con sus datos como observar el flujo en las vías donde están dispuestos.

Tras clasificar la totalidad de las vías según su volumen de tráfico, se establecen cuatro tipos de vías (A, B, C y D) según la cantidad de vehículos que circulan por ellas y, en base a los porcentajes de vehículos de cada categoría observados en las mediciones, se establece un número de vehículos dentro de las cuatro categorías de vehículos del modelo CNOSSOS, extrapolables después a las dos categorías del modelo NMPB-ROUTES.

Se muestran a continuación las dos tablas, para CNOSSOS y NMPB, con los valores correspondientes a cada vía tipo según su afluencia de tráfico:

Tabla 10 - Valores de las "Vías tipo" para el modelo CNOSSOS.

GROUP	LIGEROS			PESADOS			SEMIPESADOS			CICLOMOTORES			MOTOCICLETAS		
	D	N	E	D	N	E	D	N	E	D	N	E	D	N	E
VIA TIPO A	77	0	70	2	0	2	2	0	1	0	0	0	5	0	5
VIA TIPO B	308	0	277	7	0	7	6	0	5	1	0	1	18	0	16
VIA TIPO C	595	0	535	14	0	12	10	0	9	2	0	2	31	0	28
VIA TIPO D	900	0	810	19	0	17	12	0	11	2	0	2	37	0	33

Tabla 11 - Valores de las "Vías tipo" para el modelo NMPB-ROUTES.

GROUP	LIGEROS			PESADOS		
	D	N	E	D	N	E
VIA TIPO A	82	0	75	4	0	3
VIA TIPO B	327	0	294	13	0	12
VIA TIPO C	628	0	565	24	0	21
VIA TIPO D	939	0	845	31	0	28

3.4. Calibración del mapa digital

El proceso de calibración del modelo digital se realiza tras terminar de editar el mapa e introducir los datos de las mediciones de campo tomadas. Aunque la simple introducción de las características de las vías y el entorno de los puntos receptores de sonido, así como de los valores contabilizados, deberían ser suficientes para poder realizar las simulaciones con un grado de exactitud aceptable, la realidad es que resulta necesario realizar una calibración del mapa digital.

De este modo, se consigue que el modelo virtual responda en adelante de forma similar a como lo haría el entorno real.

Para este trabajo, el modelo digital fue calibrado con los valores de las mediciones de campo obtenidos para el modelo CNOSSOS-EU, modelo de predicción con el cual se realizó el MER de Elche 2020, y dicha calibración se mantuvo intacta a la hora de realizar la conversión e introducir las vías que serían calculadas mediante el método NMPB-ROUTES. De otro modo, los valores calculados para cada modelo comparado procederían de mapas digitales diferentes y no se podrían establecer diferencias reales entre valores.

3.4.1. Área de ruido de fondo

Pese a que este trabajo estudia únicamente el ruido de tráfico rodado, tras las primeras iteraciones para la calibración de las diferentes zonas, se observa que existen valores muy dispares sobre todo en las zonas con menos afluencia de tráfico, donde el ruido medido es muy superior al calculado mediante software.

Tras la simple observación, se aprecia que en estas zonas donde hay menos tráfico se escucha mucho más el ruido de fondo existente en las ciudades, propio de las diferentes actividades existentes, por lo que para poder simular correctamente el ruido de la zona se hizo necesaria la inclusión de un área generadora de ruido de 40 dB/m² que compensara los bajos niveles en las zonas con poco tráfico.

De esta forma se consiguió una mayor precisión en todos los puntos, donde a priori los valores calculados estaban siempre por debajo de los medidos con el sonómetro in situ.

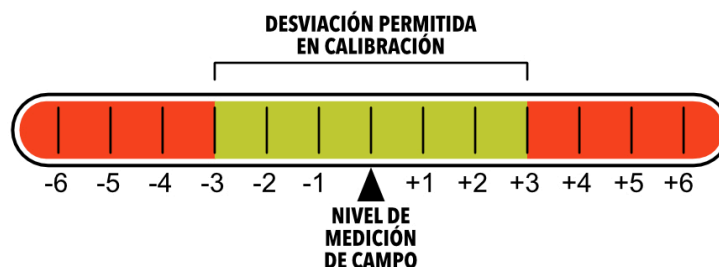
3.4.2. Protocolo de calibración de puntos

Tras preparar correctamente cada zona, es necesario conocer las diferentes variables que influyen en la emisión y propagación del sonido, para poder efectuar pequeñas modificaciones en ellas, en diferentes grados de prioridad y variación de sus valores según la precisión de su medida o la aleatoriedad de los valores reales.

Para la realización de los mapas de ruido, es habitual dar por válido en calibración un punto cuando la diferencia entre el cálculo realizado con el método elegido y la medición de campo no supera los 3 dB. Esto hace necesario acotar los resultados obtenidos mediante el proceso de cálculo, puesto que se entiende que la medida de campo representa un valor real correspondiente al contabilizado de vehículos y condiciones válidas para realizar dicha medida.

Dado que este trabajo se basa en analizar dos métodos de cálculo, se ha de prestar especial atención a este punto del proceso de elaboración de Mapas de Ruido, ya que las posibles diferencias obtenidas se verían afectadas en un caso real al pasar por el proceso de calibración.

Con el fin de visualizar el rango permitido de diferencia de niveles, se muestra a continuación una pequeña infografía donde se aprecia para que rango de ruido se daría por válido el nivel de ruido calculado. Se puede encontrar esta información ampliada, así como las diferentes hipótesis de diferencias de valores que se pueden dar en el “ANEXO III – Análisis del proceso de calibración.”



En base a estos parámetros, se genera en el proceso de calibración un protocolo de modificación de variables que afectan al valor de ruido percibido por cada punto receptor, estableciendo la prioridad de cada una de ellas para ser editada.

Se muestra a continuación el orden de comprobaciones y modificaciones de las variables seguido en la calibración:

- 1º Comprobar si la vía es de 4 carriles y solo se han contabilizado 2 dos de ellas.
- 2º Comprobar observaciones en la ficha, solo si existen fuentes de ruido externas al tráfico y permanentes (ruido fábricas, ladridos, etc.) modificar el contabilizado.
- 3º Revisar velocidad de la vía (por defecto 30 km/h).
- 4º Variar ligeramente la posición del punto de recepción.
- 5º Modificación de las condiciones de contorno (absorción de fachadas, asfalto, etc.).
- 6º Si no es posible calibrar dicho punto, se deja fuera del rango válido (± 3 dB), pendiente de valorar si se modifica el caudal de vehículos.



3.4.3. Tablas de calibración

Para determinar la desviación en los valores calculados con respecto a los reales de las mediciones, se realiza un primer cálculo de la zona diseñada, dado que en este punto solo se quiere calibrar el mapa, es suficiente con calcular los valores de ruido en los puntos receptores, por lo que se trata de cálculos ligeros para la mayoría de los computadores y no requieren excesivos tiempos de procesado.

Una vez obtenidos los valores calculados, se exportan a una tabla de cálculo junto con los valores registrados en las mediciones de campo, y calculando en una celda aparte la desviación entre valores y configurando el aspecto de la celda en base al valor de dicha variación, se puede observar de forma instantánea los puntos que se encuentran fuera del rango ± 3 dB, rango a partir del cual es habitual dar por válido el punto calibrado [3]:

Tabla 12 - Tabla utilizada en la comparativa de valores para calibración de zona.

MEDICIÓN		IMMI			DIFERENCIA	
LAeq M	LAeq T		Day (12h)	Evening	Diff. Day	Diff. Eve
69,62	67,80	2C	67,35	66,18	2,27	1,62
64,43	66,35	2E	63,32	64,43	1,11	1,92
72,22	74,15	3E	71,89	72,8	0,33	1,35
67,58	62,99	4B	64,87	62,7	2,71	0,29
69,70	67,37	4D	69,3	66,73	0,40	0,64
69,95	71,32	5A	70,61	69,48	-0,66	1,84
61,18	61,27	5C	58,6	58,44	2,58	2,83
57,84	48,79	5F	53,85	53,65	3,99	-4,86
71,41	71,40	6B	71,68	69,12	-0,27	2,28
63,66	60,55	6D	60,96	61,51	2,70	-0,96
53,01	62,47	6F	50,59	52,06	2,42	10,41
68,74	66,83	7D	66,62	64,19	2,12	2,64
61,84	58,98	7E	58,84	58,26	3,00	0,72
68,35	68,18	7G	65,47	65,88	2,88	2,30
63,67	65,26	8D	63,15	63	0,52	2,26
63,62	63,72	8E	62,53	60,94	1,09	2,78
67,68	67,29	8F	67,32	65,43	0,36	1,86

Tal y como se aprecia en la tabla, tras dos o tres iteraciones siguiendo el protocolo de calibración de puntos receptores, se consigue que la diferencia entre los valores de la medición de campo y los del modelo digital en IMMI estén dentro del rango permitido. Quedarán, no obstante, algunos puntos que bien por características especiales o por algún error de medición no se ajuste al modelo de campo (los casos más comunes en los cuales se hace difícil coincidir ambos modelos suelen ser zonas con poco o nulo tráfico donde los ruidos de fondo captados en la medición y aparentemente no relevantes, pueden hacer que los valores calculados no coincidan), como valor de compromiso, se da por válido un mapa cuando el 90% de los puntos están dentro de los márgenes.

Además de mostrar las variaciones finales de cada uno de los puntos, se guarda un registro de las modificaciones tomadas en las variables (sección de la tabla en rojo) en cada uno de los puntos receptores o de las vías analizadas en cada uno de ellos, anotando además el nuevo contabilizado en caso de haber errores en la recopilación de datos por ser vías de 4 carriles:

Tabla 13 - Tabla resumen de calibración de zona.

ZONA	PLAZA BARCELONA	MEDICIÓN		IMMI		DIFERENCIA		VARIABLE MODIFICADA				Nº VEHÍCULOS MODIFICADO								
		L _{Aeq} M	L _{Aeq} T	Day (12h)	Evening	Diff. Day	Diff. Eve	nº vías	vel	pos.recep	entorno	LIGEROS	SEMIP	PESADOS	MOTOS 45	MOTOC.	LIGEROS	SEMIP	PESADOS	
2C	CV-8615	69,62	67,80	2C	67,35	66,18	2,27	1,62	X	X			960	0	12	0	12	720	12	0
2E	Camino de los Magros	64,43	66,35	2E	63,32	64,43	1,11	1,92		X	X									
3E	CV-8615	72,22	74,15	3E	71,89	72,8	0,33	1,35	X	X	X		960	48	0	2	34	1104	12	24
4B	Av. Maestro Melchor Botella	67,58	62,99	4B	64,87	62,7	2,71	0,29		X										
4D	C/ Victoria Kent	69,70	67,37	4D	69,3	66,73	0,40	0,64		X	X									
5A	Av. Novelda	69,95	71,32	5A	70,61	69,48	-0,66	1,84		X	X									
5C	C/ Carlos Antón Pastor	61,18	61,27	5C	58,6	58,44	2,58	2,83			X							102		
5F	C/ del Despertament Femení	57,84	48,79	5F	53,85	53,65	3,99	-4,86												
6B	Av. Novelda	71,41	71,40	6B	71,68	69,12	-0,27	2,28		X	X									
6D	Av. Ausias March	63,66	60,55	6D	60,96	61,51	2,70	-0,96			X									
6F	C/ Juan Maciá Esclapez	53,01	62,47	6F	50,59	52,06	2,42	10,41												
7D	C/ Diagonal/ Hnos Navarro C	68,74	66,83	7D	66,62	64,19	2,12	2,64			X									
7E	C/ Olegario Domarco Seller	61,84	58,98	7E	58,84	58,26	3,00	0,72			X									
7G	C/ Clara Campoamor	68,35	68,18	7G	65,47	65,88	2,88	2,30												
8D	C/ Mario Pastor Sempere	63,67	65,26	8D	63,15	63	0,52	2,26			X									
8E	C/ Noche del Alba	63,62	63,72	8E	62,53	60,94	1,09	2,78		X	X									
8F	C/ de la Diagonal	67,68	67,29	8F	67,32	65,43	0,36	1,86												

Tras esta calibración, se puede estimar que la forma en la que responde el modelo digital frente a la generación del ruido producido por el tráfico rodado es similar a la del entorno real. Por lo tanto, dicho modelo digital estará preparado para realizar distintas simulaciones como gradientes de ruido por áreas o estimaciones de población afectada por valores de ruido en las fachadas de los edificios introducidos en el mapa.

3.5. Simulación digital para previsión de valores de ruido

Una vez calibrado el modelo digital, dado que se utilizan los propios datos recogidos para el modelo CNOSSOS, se obtiene directamente uno de los tres resultados estudiados en este trabajo: los niveles de ruido en los puntos receptores.

Será necesario, no obstante, realizar los cálculos necesarios mediante el software para obtener tanto los valores de ruido que afectan al número estimado de habitantes según el método VBEB, como los gradientes de nivel de ruido coloreados sobre la superficie del modelo digital.

Estos tres tipos de cálculo se configuran directamente desde la ventana de cálculo de IMMI:

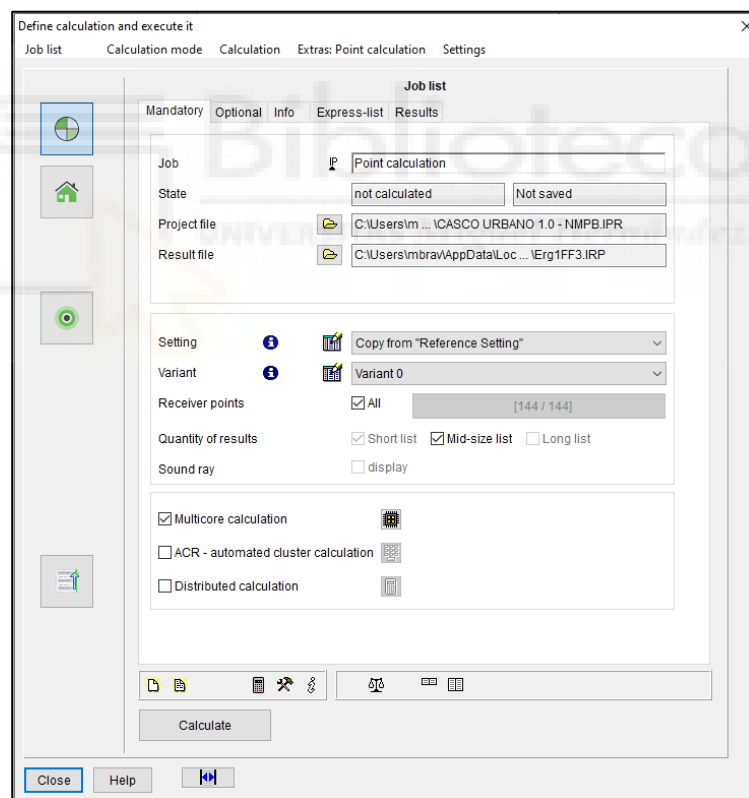


Figura 17 - Ventana de configuración de los distintos tipos de cálculos, los tres iconos verdes superiores de la columna de la izquierda muestran corresponden al calculo de puntos receptores, ruido en fachadas y gradiente de ruido por área respectivamente.

Para obtener los resultados en el modelo NMPB-ROUTES, se utilizará la disposición calibrada obtenida del modelo CNOSSOS (posición de los puntos receptores ajustada y las distintas correcciones de velocidad, número de vías, etc.) modificada siguiendo el protocolo de calibración mostrado en el apartado anterior.

Una vez introducidos los valores, se realizan los mismos cálculos que se efectuaron para el modelo CNOSSOS, valores de ruido en puntos receptores, número de habitantes afectados por cada nivel de ruido, y gradiente de color según el nivel de ruido por áreas.

Cabe destacar, que mientras que en el caso de los cálculos de los puntos receptores la computadora solo debe realizar cálculos para varias decenas de puntos en toda la zona estudiada, para los cálculos de habitantes afectados, así como para los gradientes de valores de ruido por áreas, es necesario que las computadoras realicen un cálculo de miles de puntos para obtener los valores. Por esta razón, mientras que el cálculo de los receptores se pudo realizar con los mismos ordenadores destinados al diseño de zonas, para los otros dos se utilizó una computadora del Laboratorio de Ingeniería Acústica y Vibraciones de la UMH (LIAV), destinado exclusivamente a estas tareas. Tanto en el caso del resultado de habitantes como en el de los gradientes de niveles de ruido, los cálculos de cada zona requieren de varias horas de proceso en esta computadora.

En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos, realizando posteriormente la comparativa de valores entre ambos modelos de predicción que permita establecer las diferencias entre ellos.

4. Resultados

4.1. Niveles de ruido en puntos receptores

Pese a no tratarse de unos valores que puedan reflejar de manera cualitativa un impacto en la población afectada o mostrar de manera global el ruido en una zona, se ha considerado relevante incluir también la diferencia de resultados en los puntos receptores en los cuales se han realizado las mediciones.

De este modo, no solo se comparan los resultados finales, sino también las diferencias existentes en el proceso tanto de recogida de datos como de calibración del modelo, ya que en el caso de calibrar los puntos con un modelo u otro el proceso podría verse alterado.

Se muestran a continuación las tablas comparativas de frecuencia del número de puntos analizados en la zona de estudio, que alcanzan diferentes valores de ruido según el modelo de cálculo utilizado:

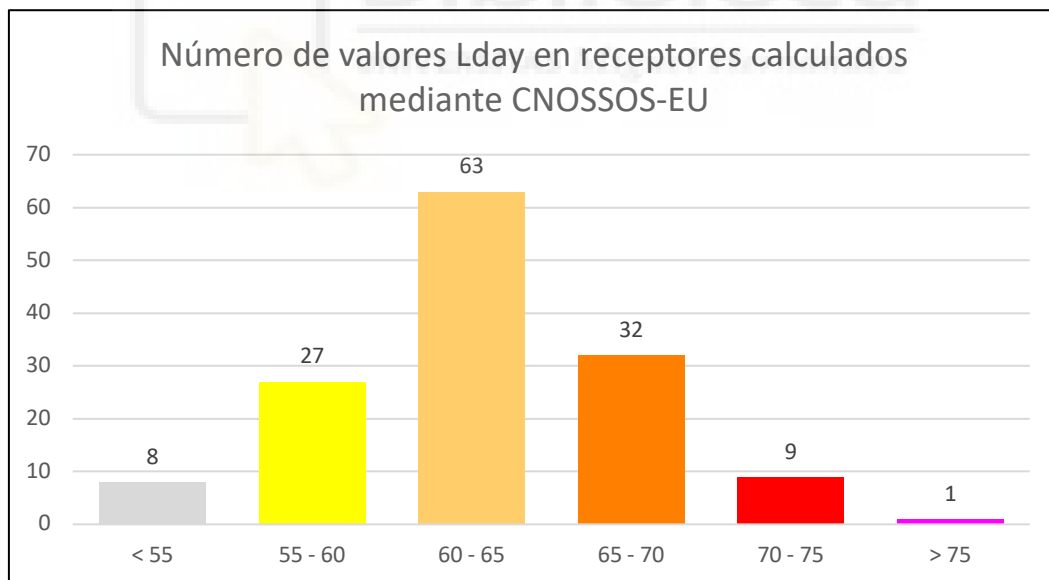


Figura 18 - Número de valores L_{day} en receptores calculados mediante CNOSSOS.

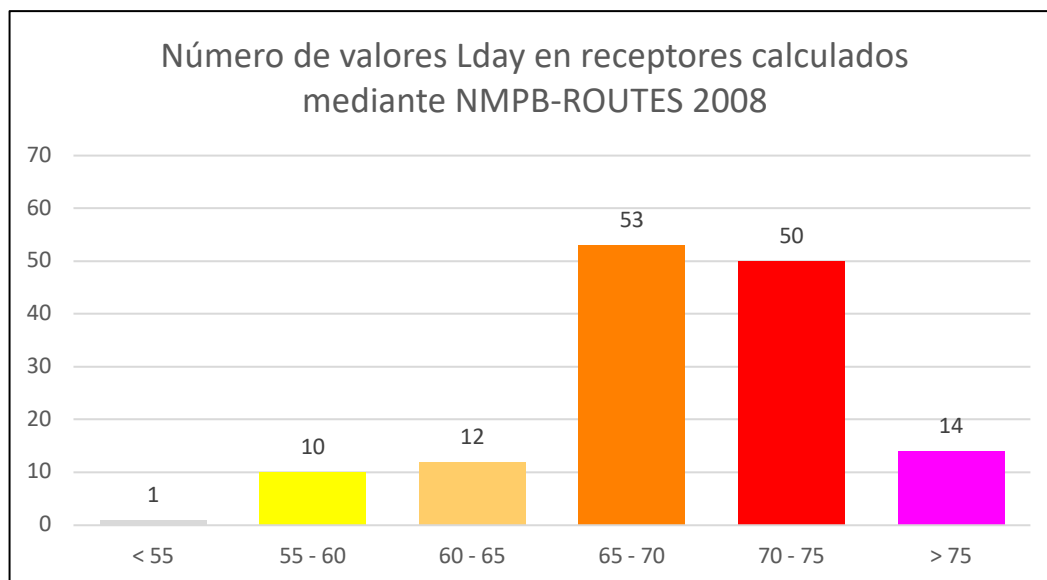


Figura 19 - Número de valores L_{day} en receptores calculados mediante NMPB-ROUTES.

Tal y como se puede apreciar en la distribución de los puntos receptores y sus valores L_{Day} obtenidos mediante el cálculo con los métodos CNOSSOS y NMPB-ROUTES respectivamente, mientras que en el primer caso los receptores se agrupan principalmente en los rangos de 60 - 65 y 65 - 70 dB, en el caso del método NMPB se encuentran entre los rangos 65 - 70 y 70 - 75 dB.

Además, en el método NMPB-ROUTES no existe una concentración de puntos significativa por debajo del nivel de 65 dB, existiendo sin embargo 14 valores máximos por encima de los 75 dB, mientras que tan solo 1 punto receptor del método CNOSSOS-EU supera este nivel.

Analizando la diferencia entre los niveles de ruido calculados mediante ambos métodos, se obtiene que los valores del método CNOSSOS tienen un nivel promedio de ruido 6,13 dB más bajo que los calculados mediante el método NMPB-ROUTES.

Se puede concluir por tanto que el antiguo método francés se encontraría aproximadamente 6 dB por encima del método CNOSSOS, rango bastante significativo que afectaría sin duda en la etapa de las calibraciones realizadas al evaluar estos puntos receptores de ruido.

4.2. Población expuesta a niveles de ruido

La población expuesta a diferentes valores de ruido es, junto con los mapas de ruido, es el resultado buscado en la mayoría de los proyectos de mapas estratégicos de ruido. Del mismo modo, la comparativa de estos cálculos realizados mediante los dos modelos analizados en este trabajo proporcionarán los datos más significativos para llegar a la conclusión expuesta al final de este documento.

Para comprender los cálculos presentados, se detallará a continuación parte del procedimiento y tipos de cálculo existentes en este análisis.

En el cálculo de población expuesta, realizado mediante el modelo digital, se diseñan edificios en 3D de manera similar al modelo real, intentando aproximar las proporciones y dimensiones de los mismos. Dado que la geometría en planta del edificio viene proporcionada por el modelo digital cartográfico descargado (apartado 3.2.1.), tan solo corresponde revisar la geometría de los mismos. Una vez simplificados estos polígonos, se les proporciona una altura estándar.

El número de habitantes total se calcula según el método VBEB asignando a las fachadas de estos edificios una densidad de habitantes por unidad de superficie de fachada, calculado para ajustar el volumen total de habitantes al volumen real de la ciudad. Por esta razón, se debe revisar la geometría de los edificios descargados en busca de vértices erróneos y polígonos interiores correspondientes a patios de luces, particiones, etc. con el fin de simplificar las fachadas de estos edificios y poder realizar los cálculos.

Una vez preparados los edificios y asignados los habitantes, se procede al cálculo mediante el software IMMI, el cual proporciona dos tipos de resultados para las franjas horarias Day, Evening y Night, además del resultado combinado DEN. Estos dos resultados corresponden a los cálculos realizados mediante los modos END y VBEB.

Para el primero de ellos, el modo END, el software asigna la totalidad de habitantes de un edificio a la fachada más expuesta al ruido, eliminando las otras y proporcionando el resultado más desfavorable posible.

En el segundo tipo, el modo VBEB, el software asigna los habitantes de forma proporcional a todas las fachadas, calculando la exposición de los habitantes como si estuvieran repartidos

en todas las fachadas del edificio en puntos cada 5 metros aproximadamente.

Para los resultados presentados se han utilizado únicamente los valores de habitantes calculados mediante el modo VBEB, por presentar una solución más aproximada a la distribución existente en los edificios.

Se exponen a continuación los valores obtenidos del cálculo sobre el modelo digital para la exposición del nº de habitantes a diferentes valores de ruido, calculados con el modelo CNOSSOS y el modelo NMPB-ROUTES respectivamente:

Tabla 14 - Nº de habitantes expuestos a los diferentes rangos de valores de ruido en dB, calculados para el modelo CNOSSOS.

EXPOSICIÓN HABITANTES CNOSSOS				
	Day	Evening	DEN	% DEN
< 55	53783	64505	55717	48,58%
55-60	46927	38208	43182	37,65%
60-65	13658	11688	14929	13,02%
65-70	332	298	748	0,65%
70-75	0	0	124	0,11%
> 75	0	0	0	0,00%

Tabla 15 - Nº de habitantes expuestos a los diferentes rangos de valores de ruido en dB, calculados para el modelo NMPB-ROUTES.

EXPOSICIÓN HABITANTES NMPB-ROUTES				
	Day	Evening	DEN	% DEN
< 55	17807	18647	17743	15,21%
55-60	13806	16968	13126	11,25%
60-65	57372	58855	59182	50,73%
65-70	26048	21232	24324	20,85%
70-75	1625	956	2125	1,82%
> 75	0	0	157	0,13%

En el siguiente gráfico, se muestran los valores de habitantes de la franja horaria L_{DAY} obtenida con los dos modelos:

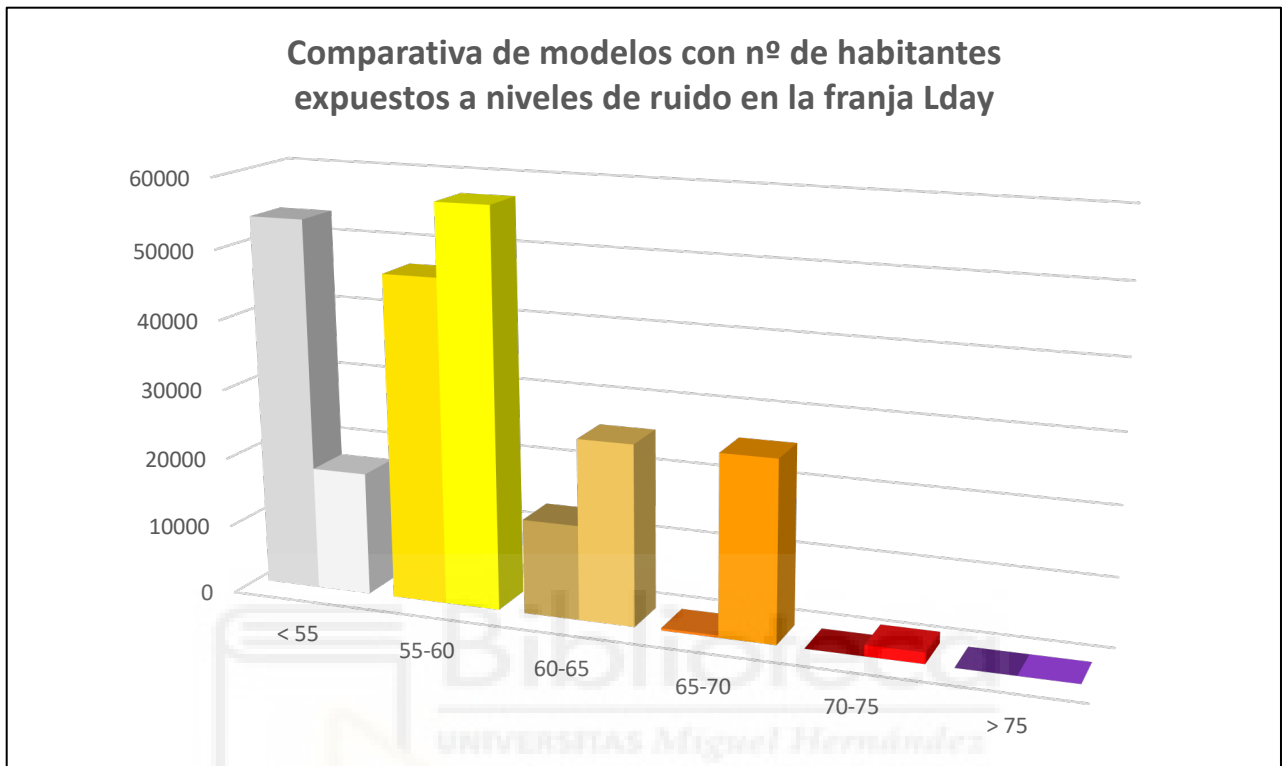


Figura 20 - Gráfico comparativo de modelos CNOSSOS (columnas izquierdas) y NMPB-ROUTES (derechas) con los habitantes expuestos a diferentes niveles de ruido para la franja horaria L_{day} .

Observando tanto la columna de porcentajes, como el gráfico con el resultado de las dos tablas, se puede apreciar, a grandes rasgos, como mientras que en el caso del modelo CNOSSOS la mayor parte de la población queda agrupada en los rangos < 55 y 55 - 60 dB aproximadamente, correspondiendo a un total de 100.710 habitantes que representan aproximadamente el 85 % de la población total. Sin embargo, el modelo NMPB-ROUTES presenta una concentración más del 70 % de habitantes entre los rangos de 55 - 60 dB y 65 - 70 dB, correspondiendo a un total de 83.420 habitantes, contando además con un porcentaje significativo de habitantes incluso en el rango de 65 - 70 dB (22,33%), rango para el cual el modelo CNOSSOS no presenta prácticamente ningún habitante.

Por lo tanto, en la gráfica se observa como en el modelo NMPB el mayor volumen de habitantes está claramente en el rango de 55 - 60 dB, mientras que el modelo CNOSSOS presenta dicho pico en el rango inferior < 55 dB. Además, el modelo francés contiene más de 12.000 habitantes expuestos a valores entre 60 y 65 dB, y más de 25.000 en el rango 65 – 70 dB que el modelo CNOSSOS, reflejando un escenario en general unos 5 dB aproximadamente por encima el modelo NMPB con respecto al modelo europeo.

Estas diferencias coinciden aproximadamente con las obtenidas en la comparativa realizada con los puntos receptores, reflejando una distribución y diferencia media similares.



4.3. Mapas de niveles de ruido

Por último, se muestran los mapas de niveles de ruido de la zona estudiada en este trabajo, calculados tanto para el modelo CNOSSOS como para el modelo francés NMPB-ROUTES en la franja L_{DAY} . Para una visualización más detallada, en el ANEXO I se adjuntan los mapas en formato A3.

En la siguiente imagen se muestra el mapa de ruido calculado mediante el método CNOSSOS-EU:

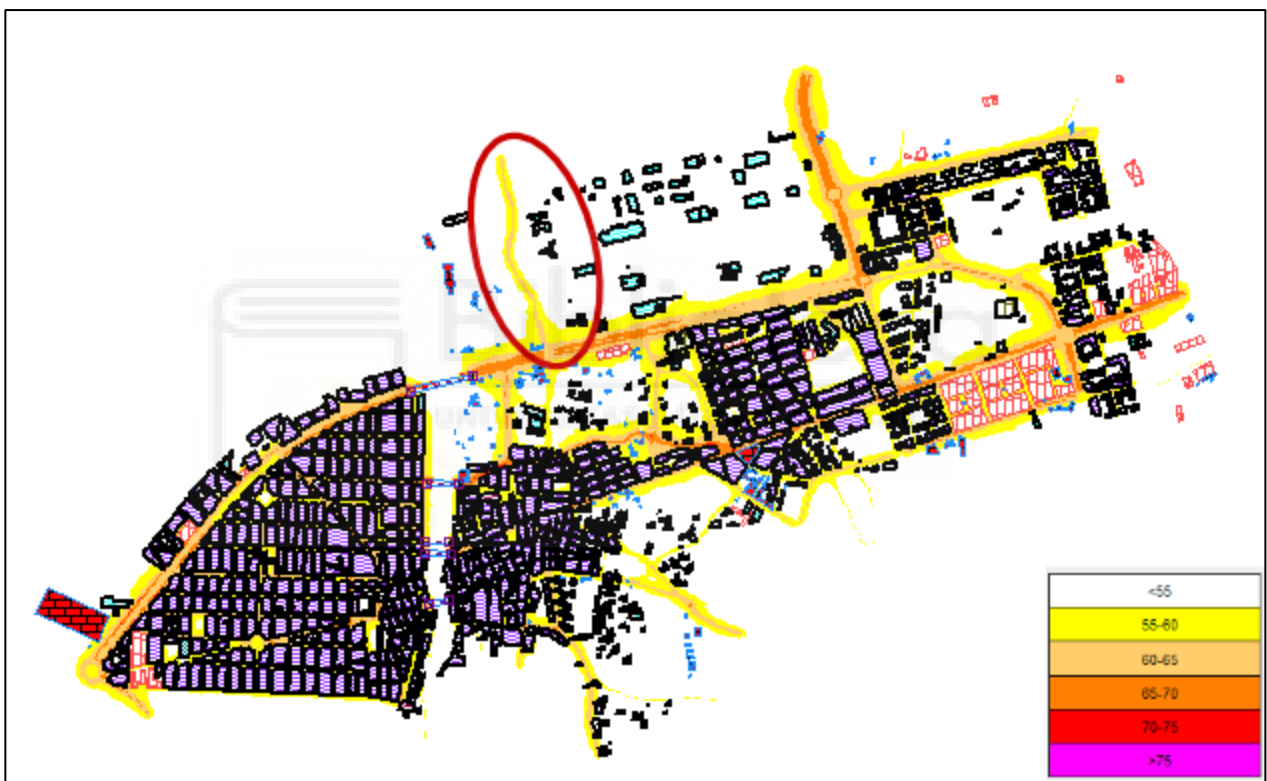


Figura 21 - Mapa de niveles de ruido calculado mediante el modelo CNOSSOS para el periodo L_{day} .

Se muestra a continuación el mapa calculado mediante el modelo francés NMPB-ROUTES 2008:

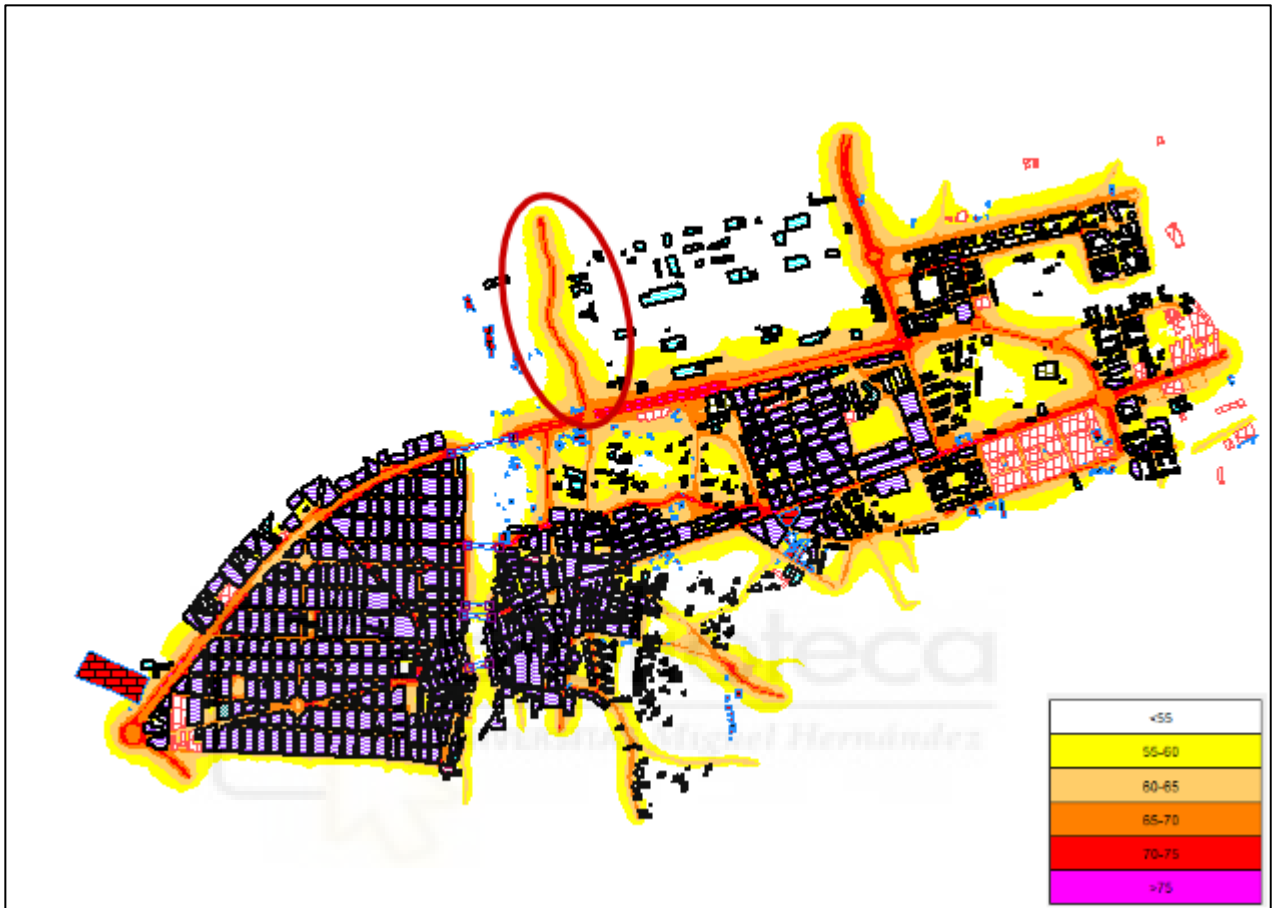


Figura 22 - Mapa de niveles de ruido calculado mediante el modelo NMPB-ROUTES para el periodo Lday.

Para efectuar un análisis aproximado de la imagen, en el caso de los mapas se aprecian igualmente unos niveles más altos de ruido en el modelo NMPB-ROUTES, existiendo una diferencia de entre 1 y 2 rangos más alto. Sin embargo, si prestamos atención a las zonas del mapa con vías aisladas, como es el caso del “Camí del pantà”, rodeado en rojo en los mapas, se puede apreciar como a medida que aumenta la distancia a la vía (fuente de ruido), la diferencia entre ambos modelos disminuye, disipándose aparentemente por debajo del valor mínimo a la misma distancia en algunas zonas. En las figuras 23 y 24 del ANEXO II se muestra la posición del sonómetro (punto receptor) de medición en dicha vía, denominado como punto 2C de Altabix, donde se puede apreciar esta diferencia de atenuación del ruido.

Se puede determinar por tanto que pese a que en un principio la diferencia de rangos de ruido en las áreas más próximas a las fuentes generadoras se encuentre en valores entre los 6 y los 10 dB(A), en la distancia media esta diferencia parece disminuir ligeramente, lo que podría aproximar su valor medio a las diferencias que se observan en los resultados obtenidos en las tablas de puntos receptores y exposición de habitantes. No obstante, estos valores basados en la observación de los mapas carecen de la precisión de los obtenidos en los dos apartados anteriores de resultados.



5. Conclusiones

Recopilando la información extraída de los resultados analizados en el capítulo cuarto, se puede determinar que existe una diferencia aproximada de unos 5 a 7 dB en los niveles de ruido obtenidos mediante el cálculo de software para los modelos CNOSSOS y NMPB-ROUTES, siendo siempre mayores en el caso de este último.

Observando los mapas de ruido, se aprecia además como esta diferencia es mayor en las áreas próximas a las vías, pero se van igualando los valores a medida que la distancia es mayor a la fuente de ruido.

Si se tiene en cuenta que el modelo NMPB-ROUTES es un modelo más antiguo, y que posiblemente el modelo CNOSSOS haya tomado varias características de cálculo y posibles correcciones a partir de este, se puede concluir que puesto que en el caso del modelo NMPB-ROUTES se han considerado un menor número de variables, existe un grado de incertidumbre mayor que en el caso del nuevo modelo europeo, por tanto, este aspecto puede conllevar que con sus cálculos se obtengan valores más altos, obligando a tomar medidas correctoras más conservadoras que con el nuevo modelo europeo CNOSSOS.

Por último, considerando estas diferencias en la práctica, es necesario analizar como se verían afectadas concretamente en el proceso de calibración. Si se presta atención al apartado 3.4.3. de este trabajo, se puede deducir que tras esta calibración, la diferencia entre los valores calculados con ambos modelos nunca superará en la práctica los 6 dB, habiendo además como máximo una diferencia de 3 dB al punto de referencia de la medición de campo. Esta corrección se producirá debido a que pese a que los valores presenten diferencias mayores a este rango, tras el proceso de calibración necesario para la simulación de mapas, los valores quedaría acotados tanto superior como inferiormente en un rango de ± 3 dB con respecto a la medida obtenida de campo, modificando los cálculos obtenidos tanto para el modelo CNOSSOS como para el NMPB en caso de que queden fuera de este rango.

En el “Anexo II – Análisis del proceso de calibración” quedan descritas las diferentes posibilidades que se pueden presentar según los valores de cálculo de CNOSSOS y NMPB y su distancia relativa al valor de la medición de campo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Wikipedia, «Wikipedia,» 3 Marzo 2020. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Mapa_de_ruido. [Último acceso: 2021].
- [2] Parlamento Europeo y Consejo de la UE, «DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental,» Luxemburgo, 2002.
- [3] H. C. Vicente, «Tesis doctoral: Adaptación del modelo de predicción de ruido de tráfico rodado NMPB-ROUTES 2008 a la presencia de vehículos eléctricos,» Elche, 2014.
- [4] M. Arana, A. M. d. Vírjala, A. Aleixandre, M. S. Martín y A. Vela., «Modelos de predicción del ruido de tráfico rodado. Comparación de diferentes standards europeos,» de *Tecniacústica*, Madrid, 2000.
- [5] M. P. F. A.-L. Stylianos Kephelopoulos, "Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)," 2012.
- [6] Royal Netherlands Standardization Institute NEN, «NEN-EN 1793-3:1995 Ontw. Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 3: Normalised traffic noise spectrum,» 1995.
- [7] J. Simona Pujadó, J. Jorge Sánchez y J. F. Mulet Arias, «Comparativa de nuevos modelos europeos de predicción de niveles de ruido de tráfico rodado,» de *Tecniacústica*, León, 2010.
- [8] U. P. Martínez, «Análisis del nuevo método de cálculo CNOSSOS-EU para la elaboración de mapas de ruido,» Pamplona, 2012.
- [9] M. P. Díez, «Nuevo modelo de predicción CNOSSOS-EU para el tráfico rodado. Ajuste con resultados experimentales,» Pamplona, 2013.

- [10] ISO, «ISO 9613-1:1993(E), Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere,» 1993.
- [11] Brüel & Kjaer, «Brüel & Kjaer,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.bksv.com/es>. [Último acceso: 2021].



Anexos

ÍNDICE

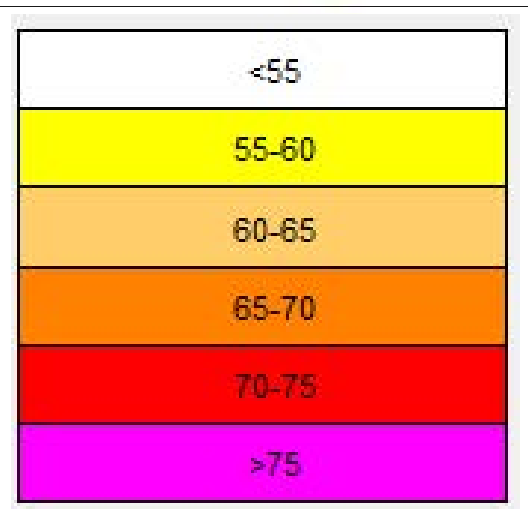
Anexo I – Planos.

Anexo II – Ejemplos de posicionamiento del sonómetro en las mediciones de campo.

Anexo III – Análisis del proceso de calibración.

Anexo I – Planos





PROYECTO:
ANÁLISIS Y COMPARATIVA ENTRE EL ACTUAL MODELO DE PREDICCIÓN DE RUIDO CNOSSOS-EU FRENTE AL MODELO NMPB-ROUTES-2008

PLANO:
MAPA DE RUIDO REALIZADO CON MÉTODO CNOSSOS-EU

PLANO Nº:
1

SITUACIÓN:
TÉRMINO MUNICIPAL DE ELCHE

ESCALA:
SIN ESCALA

PROYECTISTA:
MARIO BRAVO ANTOLÍN 4472811E

FECHA:
SEP 2021





<55
55-60
60-65
65-70
70-75
>75

PROYECTO:
 ANÁLISIS Y COMPARATIVA ENTRE EL ACTUAL MODELO DE PREDICCIÓN DE RUIDO CNOSSOS-EU FRENTE AL MODELO NMPB-ROUTES-2008

PLANO:
 MAPA DE RUIDO REALIZADO CON MÉTODO NMPB-ROUTES

PLANO Nº:
 2

SITUACIÓN:
 TÉRMINO MUNICIPAL DE ELCHE

ESCALA:
 SIN ESCALA

PROYECTISTA:
 MARIO BRAVO ANTOLÍN 4472811E

FECHA:
 SEP 2021



Anexo II – Ejemplos de posicionamiento del sonómetro en las mediciones de campo.

Se muestran a continuación varias imágenes correspondientes al proceso de recogida de datos mediante mediciones de campo. En ellas se puede observar la colocación del sonómetro con el trípode sobre la acera, mostrando también su posición relativa con respecto a cualquier barrera que pudiera obstaculizar la captación del ruido generado por el tráfico en la vía.



Figura 23 - Punto 2C de Altabix, correspondiente al Camí del Pantà, efectuando la medida Lday.



Figura 24 - Punto 2C de Altabix, correspondiente al Camí del Pantà, efectuando la medida Levening



Figura 25 - Punto 1I de Altabix, correspondiente a la Av. de la Universitat, efectuando la medida Levening

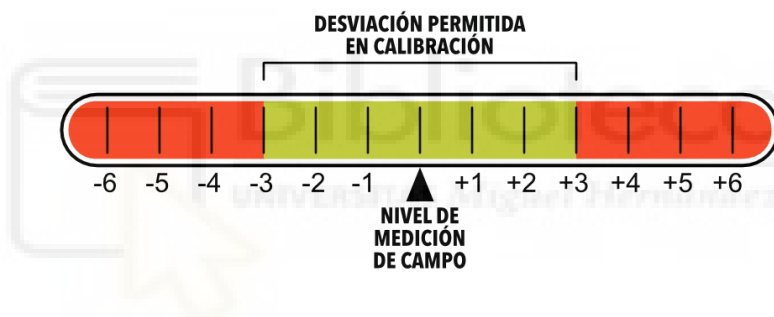


Figura 26 - Puntos 4C y 4E de la zona Obispo Siurí, correspondientes a las vías Av de la Llibertat y Concepción Arenal, efectuando las medidas Lday y Levening respectivamente

Anexo III – Análisis del proceso de calibración

En este anexo se describen las diferentes posibilidades que pueden presentar los valores calculados mediante los dos modelos al pasar por la etapa de calibración del modelo digital. Se estudian las modificaciones que pueden sufrir cada uno de los valores según su valor relativo al nivel de ruido de la medición de campo, apoyando los diferentes casos con un pequeño infograma donde se ubican los diferentes valores relativos.

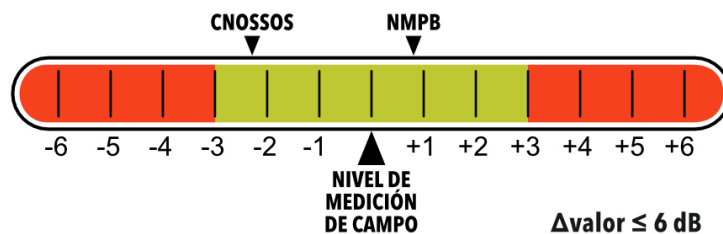
Como ya queda descrito en el apartado 3.4.3. existe un margen aceptable de error de ± 3 dB en la diferencia de valor de la medición de campo con respecto al valor calculado por el modelo digital, donde se encontrarían incluidos los cálculos correspondientes a uno de los dos modelos analizados.



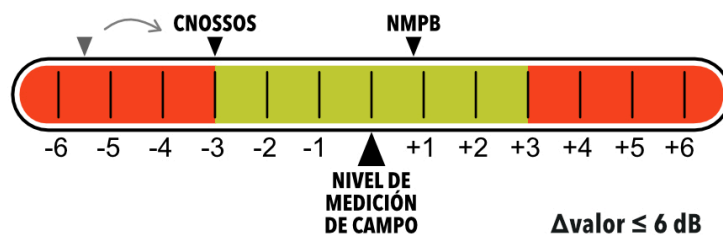
Dado que este trabajo compara los dos valores obtenidos para establecer las diferencias que existirían ante una misma situación, con los mismos puntos de medida y características del mapa de ruido, tiene sentido comparar directamente y analizar ambos valores en el proceso de calibración. Este es el punto donde se pueden llegar a modificar diferentes variables que alteren estos valores y, por tanto, la diferencia entre los mismos en caso de ser aplicados a un mapa de ruido idéntico.

Se detallan a continuación las diferentes posibilidades que presentarían los valores de los modelos CNOSSOS y NMPB, según su diferencia con respecto a la medida real de campo realizada mediante el sonómetro:

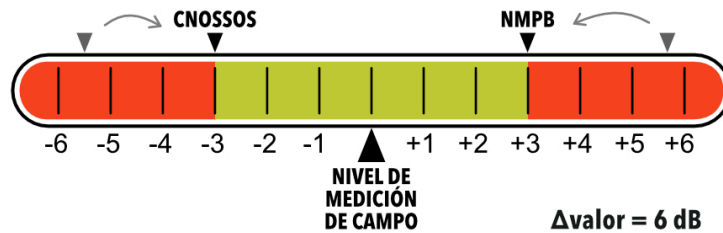
- a) Los dos valores calculados se encuentran dentro del margen de error permitido de ± 3 dB con respecto a la medida de campo. Por lo tanto, no deben ser modificados y su diferencia será como máximo 6 dB.



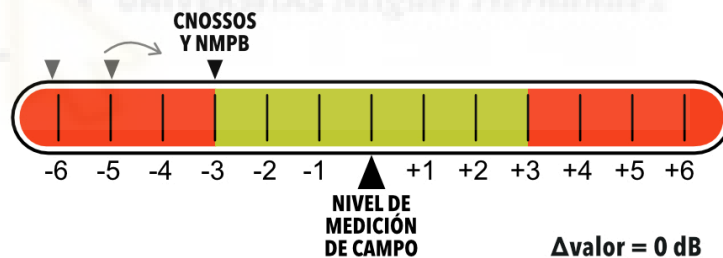
- b) Uno de los valores se encuentra fuera del rango, por lo tanto, en el momento de la calibración deberá ser modificado cambiando alguna de las variables permitidas hasta entrar dentro del rango, ya sea por el límite inferior o el superior. Tras la modificación, la diferencia de los valores será también menor o igual a 6 dB.



- c) Los dos valores se encuentran fuera del rango, tienen una diferencia > 6 dB y además contienen la medida de campo entre ellos. En este caso, ambos valores deben ser modificados en el proceso de calibración y su diferencia final debería ser igual a 6 dB.



- d) Los dos valores se encuentran fuera del rango, pero en este caso, ambos se encuentran por debajo del límite mínimo o por encima del límite máximo. Dado que ambos deberán ser calibrados, alcanzarán el mismo límite, teniendo por tanto el mismo valor.



Por lo tanto, independientemente de la diferencia de valores calculados por los dos modelos, tras la calibración ambos podrán conservar diferencias de entre 0 a un máximo de 6 dB.