

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD EN SITUACIONES CON MÚLTIPLES TIPOS DE EMISORES ACÚSTICOS

PACS: 43.50.Qp

Notario Tévar, Antonio
Datakustik GmbH
C/ Calera 3, Loft 49
28760 Tres Cantos
España
+34 91 219 08 78
antonio.notario@datakustik.com

ABSTRACT

Due to multiple circumstances, many countries evaluate aircraft noise separately from the other types of noise sources, like road and railway noise. Specific Research efforts analyzing the perception of noise led to the release of guidelines such as the German VDI 3722. This guideline focuses especially on the annoyance of different noise types and derives a single number value, representing the overall perception of all noise sources, for each affected inhabitant. In order to enable an efficient overall evaluation of noise levels within urban areas, each infrastructural source must be handled within one noise model.

RESUMEN

Debido a multitud de circunstancias, muchos países evalúan el ruido de aviación de forma separada al resto de emisores acústicos, como carreteras y ferrocarriles. Los esfuerzos invertidos específicamente en la investigación del análisis de la percepción del ruido, han desembocado en el desarrollo y publicación de normas cuyo objetivo es la valoración global de la molestia sobre los habitantes, derivando un único parámetro integral que incluye el efecto combinado de todos los tipos de emisor presentes. Con el fin de realizar una evaluación global de niveles de ruido eficiente, todas las infraestructuras deben estar presentes en el mismo modelo, independientemente de su tipo.

INTRODUCCION

Gracias a la implementación de la Directiva Europea sobre Gestión de Ruido Ambiental 2002/49/CE, multitud de países implementaron sistemas para controlar y gestionar la exposición al ruido generada por emisores acústicos externos. Los indicadores de ruido como el L_{DEN} y L_N , conjuntamente con los valores límite establecidos por Ley, conforman la base de dichos sistemas de control. Pero mientras los indicadores de ruido describen en cierto modo la exposición al éste, la relación entre ellos y los potenciales efectos en la salud – como la perturbación al sueño o el deterioro cognitivo – viene dada por las curvas de dosis – respuesta, las cuales se han derivado de multitud de estudios en los efectos nocivos del ruido.

Dado que la molestia depende del tipo de emisor, las relaciones dosis – efecto disponibles han sido contrastadas por estudios posteriores en el caso de tipos específicos de fuentes como es el tráfico rodado, ferroviario o aéreo por separado. Desafortunadamente, no es el caso cuando se trata de analizar las relaciones dosis – efecto en casos con múltiples tipos de emisores.

Por otro lado, tanto las normas de cálculo como los límites de ruido son pensados considerando cada tipo de emisor de forma aislada. Por ejemplo, el software TNM (el modelo de predicción de ruido de tráfico de la US Federal Highway Administration) y el software INM (la aplicación de la US FAA para la predicción de ruido en aeropuertos civiles) son aplicaciones separadas de software para calcular la inmisión.

Sin embargo, la población normalmente está expuesta a más de un tipo de emisor de forma simultánea y, aunque los límites de ruido individuales no sean sobrepasados, el ruido global puede ser en cualquier caso inaceptable debido a los efectos combinados inducidos por la exposición a un ruido con distintas componentes. Por tanto, se hace necesario un tratamiento y gestión integrada del ruido de forma urgente. Para alcanzar este tratamiento integrado es necesario alcanzar dos metas: la primera, gestionar todos los tipos de emisor acústicos desde una plataforma de software común y en segundo lugar, implementar procedimientos para evaluar la influencia de múltiples tipos de emisor en la población.

GESTIÓN DE MÚLTIPLES TIPOS DE EMISOR EN EL MISMO MODELO

Empleo de modelos aislados vs. Empleo de una plataforma unificada

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los principales problemas es que las diferentes aplicaciones de predicción de ruido son desarrolladas y empleadas para calcular el ruido procedente de distintos tipos de emisor. Este concepto conduce normalmente a varias limitaciones que afectan tanto al flujo de trabajo como a las posibilidades de análisis.

Gestionar el ruido de cada tipo de emisor de forma aislada implica generar tantos proyectos separados como tipos de emisor existen en el proyecto, aunque en muchas ocasiones las herramientas de modelado y los formatos de importación sean diferentes en cada programa. Incluso cuando se emplea el mismo set de datos, cierto software podría necesitar una simplificación extra de los datos, mientras que no el resto. Por último, el usuario tiene que configurar tantos software como tipos de emisores estén presentes.

Después del cálculo, las mallas resultantes en ocasiones deben abrirse e integrarse con aplicaciones de terceros. Dicha integración es básicamente una suma energética de mallas. Este es el caso de los programas TNM e INM, que comparten la misma aplicación NMPlot, para la visualización y edición de mallas geo referenciadas. Sin embargo, si el usuario hubiera realizado simplificaciones en el modelo con el fin de ajustarse a las limitaciones específicas de cada software, la conclusión lógica es que las mallas resultantes no proceden de la misma situación. También debe tenerse en cuenta la configuración de la propia malla. Si el espaciado entre receptores es distinto (por ejemplo, ruido de tráfico y ruido aéreo con distinta distancia entre receptores), la malla resultante podría ser inexacta en ciertas posiciones debido a la extrapolación de resultados.

La situación ideal sería integrar todas las normas de cálculo en una plataforma de software desarrollada profesionalmente. De esta forma, no se limita el desarrollo continuo de nuevas

técnicas de modelado, mientras que los usuarios pueden beneficiarse de un amplio rango de posibilidades a la hora de calcular y gestionar el ruido producido por cualquier tipo de emisor, individualmente o de forma combinada.

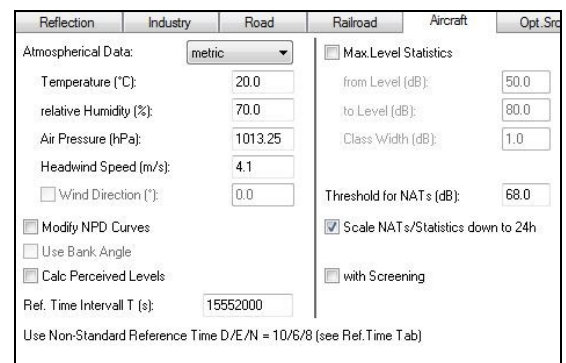
Comparado con el desarrollo in-house, en el cual los desarrolladores implementan un método de cálculo y diseñan un interfaz alrededor para que los usuarios puedan interactuar, el desarrollo de software profesional se centra en un interfaz de usuario común, donde los estándares de cálculo son implementados en forma de módulos. Así, el usuario puede acceder a todas las herramientas de modelado y formatos de importación disponibles, y generar un modelo único donde todos los tipos de emisor estarán presentes.

Implementación de la Normas INM y ECAC Doc. 29 3rd Edition en una Plataforma de Software Común

Desde un punto de vista técnico, el cálculo del ruido procedente de aeronaves requiere una precisión extrema, de tal forma que dos usuarios distintos que ejecutan una predicción en el mismo escenario obtengan el mismo resultado. En el caso del modelo INM, los desarrolladores deben integrar la metodología correctamente en el software con el fin de obtener resultados precisos. Es necesario además, que el software integre todos los diálogos para entrada de parámetros de una forma homogénea de forma que, cuando decida cambiar de norma de cálculo, el programa se adapte a esta.

La plataforma de software debe también permitir la importación de datos relevantes, como las coordenadas de referencia del aeropuerto, datos de las trayectorias, e incluso proyectos ejecutados con INM. Los datos de emisión deben importarse directamente desde la Aircraft Noise and Performance Database (ANP), una fuente internacional para el modelado de ruido aeroportuario.

Por último, las operaciones – es decir, todo avión que despegue o aterrice en una pista– necesita ser importado. Los datos son usualmente almacenados en la una base de datos (formato DBF), pero pueden ser importados alternativamente desde distintos sistemas RADAR.



| Reflection | Industry | Road | Railroad | Aircraft | Opt. Src |
|--|----------|---|----------|---|----------|
| Atmospherical Data: metric | | | | | |
| Temperature (°C): | | 20.0 | | <input type="checkbox"/> Max Level Statistics | |
| relative Humidity (%): | | 70.0 | | from Level (dB): 50.0 | |
| Air Pressure (hPa): | | 1013.25 | | to Level (dB): 80.0 | |
| Headwind Speed (m/s): | | 4.1 | | Class Width (dB): 1.0 | |
| <input type="checkbox"/> Wind Direction (°): | | 0.0 | | Threshold for NATs (dB): 68.0 | |
| <input type="checkbox"/> Modify NPD Curves | | <input checked="" type="checkbox"/> Scale NATs/Statistics down to 24h | | | |
| <input type="checkbox"/> Use Bank Angle | | <input type="checkbox"/> with Screening | | | |
| <input type="checkbox"/> Calc Perceived Levels | | Ref. Time Intervall T (s): 15552000 | | | |
| Use Non-Standard Reference Time D/E/N = 10/6/8 (see Ref. Time Tab) | | | | | |

IMAGEN 1: DIÁLOGO DE ENTRADA DE DATOS ADAPTADO AL MODELO INM

Gestión Individual o Combinada de Emisores Acústicos en un Único Modelo

Durante el cálculo, todos los tipos de emisor presentes serán simulados siguiendo la norma de cálculo correspondiente. Al finalizar el cálculo, los resultados globales son integrados y mostrados de distintas maneras: receptores puntuales, mallas de isófonas, tablas, etc. Dichos resultados son importantes para investigar qué importantes son los efectos de la exposición combinada a múltiples tipos de emisión, comparados con la emisión de tráfico rodado.

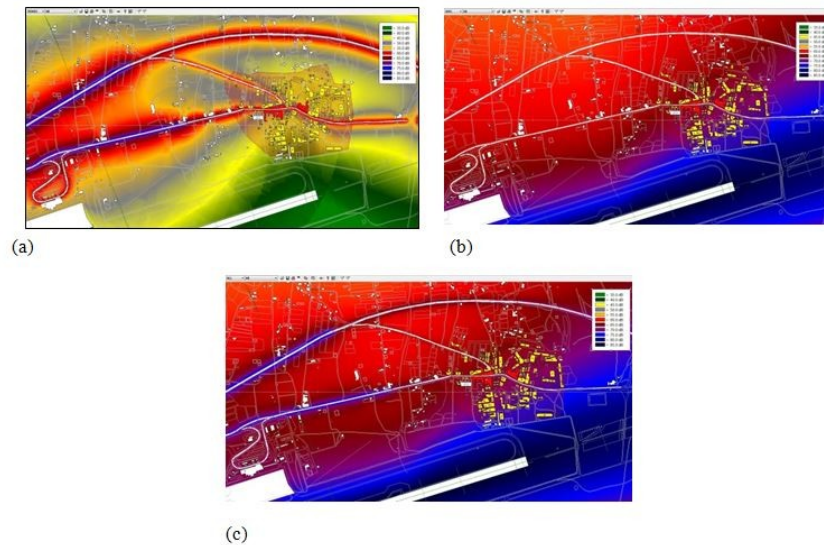


IMAGEN 2: MAPAS DE RUIDO DE UNA SITUACIÓN ACÚSTICA COMBINADA (A) MAPA DE TRÁFICO RODADO, (B) MAPA DE RUIDO AEROPORTUARIO Y (C) MAPA GLOBAL

Mientras los mapas de ruido tratan de informar de la situación acústica de un área, los resultados en puntos receptores son extremadamente importantes como base para la toma de decisiones en puntos críticos. Gracias al enfoque integrado, los receptores muestran no solo los niveles de presión sonora globales, sino también los niveles parciales procedentes de los distintos tipos de emisor. En la ilustración 3, dichos resultados se muestran para un receptor puntual. Todos los receptores pueden ser listados en una tabla con la información más relevante, incluyendo información acerca de qué emisión es la principal y por tanto dando valiosa información acerca de qué estamento gubernamental tiene el deber de solucionar el problema.

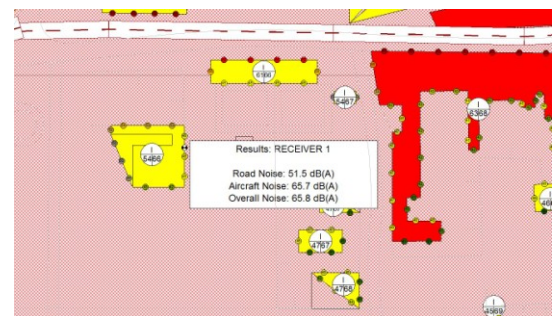


IMAGEN 3: RESULTADOS EN UN PUNTO RECEPTOR INDIVIDUAL

Tabla 1. Tabla de resultados en distintas posiciones

| RECEIVERS | LAND USE | LIMITING VALUES | | | CALCULATED VALUES | | | EXCEEDING | | | ACTION REQUIRED? | | |
|------------|----------|---------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------|-----|----------------|
| | | Road - Day dB(A) | Aircraft - Day dB(A) | Overall - Day dB(A) | Road - Day dB(A) | Aircraft - Day dB(A) | Overall - Day dB(A) | Road - Day dB(A) | Aircraft - Day dB(A) | Overall - Day dB(A) | FHWA | FAA | Joint Solution |
| RECEIVER 1 | III | 55 | 67 | 69 | 51.6 | 65.7 | 65.9 | - | - | - | NO | NO | NO |
| RECEIVER 2 | III | 55 | 67 | 69 | 44.9 | 66.2 | 66.3 | - | - | - | NO | NO | NO |
| RECEIVER 3 | III | 55 | 67 | 69 | 60.0 | 68.6 | 69.1 | 5.0 | 1.6 | 0.1 | YES | YES | YES |
| RECEIVER 4 | III | 55 | 67 | 69 | 49.9 | 66.0 | 66.1 | - | - | - | NO | NO | NO |
| RECEIVER 5 | III | 55 | 67 | 69 | 45.0 | 67.1 | 67.1 | - | 0.1 | - | NO | YES | NO |
| RECEIVER 7 | III | 55 | 67 | 69 | 56.9 | 63.6 | 64.4 | 1.9 | - | - | YES | NO | NO |
| RECEIVER 6 | III | 55 | 67 | 69 | 56.9 | 63.4 | 64.3 | 1.9 | - | - | YES | NO | NO |

ANÁLISIS DEL EFECTO DE DISTINTOS TIPOS DE EMISIÓN EN ÁREAS URBANAS

Desde un punto de vista práctico, los indicadores han de ser sencillos de explicar al público de forma que sean comprendidos intuitivamente. Las normas nacionales e internacionales

emplean como indicadores Niveles equivalentes de Presión Sonora ponderados A, los cuales están referidos a los periodos diurno y nocturno, y representan la situación acústica a largo plazo. Para todos los emisores, dichos niveles L_{eq} se contrastan con los valores límite con el fin de comprobar su cumplimiento con los requisitos legales.

Sin embargo, la relación entre los niveles L_{eq} y los efectos adversos en la salud no es directa, especialmente durante la noche. En primer lugar, la correlación entre indicadores como el LN y algunos efectos a largo plazo en la salud como problemas cardiovasculares es más clara. Pero efectos instantáneos como la interrupción del sueño, están mejor relacionados con los niveles máximos por evento. En segundo lugar, cada tipo de emisión tiene un impacto diferente en la relación entre el LN y los efectos en la salud. Por ejemplo, el ruido de tráfico rodado se caracteriza por un alto número de eventos de bajos niveles, mientras que en el ruido de aeronaves ocurren menos eventos con un nivel mucho mayor. Finalmente, el efecto conjunto de distintos tipos de emisores ha sido raramente investigado. La principal razón se debe a que el efecto de la misma combinación de tipos de emisor puede ser distinta entre los periodos diurno y nocturno.

Basándose en las relaciones dosis – efecto para tipos de emisor individual, el propósito de normas como la VDI 3722-2 es establecer un procedimiento de evaluación de la influencia de varios de esos tipos de emisión en la población. Dicho procedimiento aúna métodos para estimar la molestia total y la perturbación del sueño basándose en el efecto equivalente para los distintos tipos de emisión.

Cálculo del Nivel de Sustitución Para la Molestia Total Debido a Múltiples Emisores

El procedimiento de cálculo descrito en 1 y desarrollado por Miedema se emplea para determinar la población molesta total (%A), altamente molesta (%HA), así como la población perturbada y altamente perturbada al sueño (%SD y %HSD respectivamente), a partir de la suma energética de los niveles de presión sonora continuos equivalentes para los distintos tipos de emisión de forma individual. Aquí, el tráfico rodado es seleccionado como valor de referencia y por tanto, es necesario un método de sustitución para convertir los niveles efectivos de otros emisores (aviación y ferrocarriles) a niveles de tráfico rodado para el mismo nivel de molestia. La equivalencia de efectos se expresa por el porcentaje de personas con molestia (p.e. %A). El método se ilustra en la figura 4

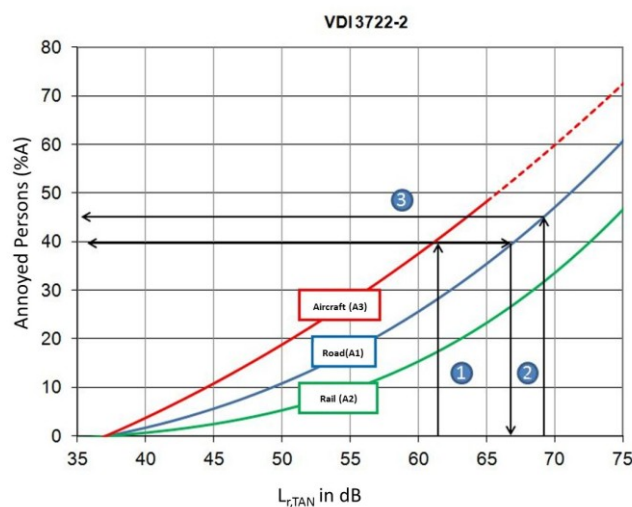


IMAGEN 4: DETERMINACIÓN DE UN NIVEL RENORMALIZADO PARA UN RUIDO DE AVIACIÓN DE 61 dB

En este caso, para un ruido de aviación de 61 dB, el porcentaje de personas con molestia es del 40%. Por tanto, el nivel de sustitución para el ruido de aeronaves (valor de la exposición resultante en referencia al ruido de tráfico rodado) es de 67 dB

Finalmente, los niveles de sustitución se suman energéticamente para obtener el Nivel de Sustitución relacionado con el efecto (LAES). Asumiendo en el ejemplo un nivel de ruido por tráfico rodado de 65 dB, el nivel de sustitución es 69 dB aproximadamente. Este valor corresponde a un porcentaje aproximado de población molesta del 45%.

Determinación de los Valores Característicos en Caso de Exposición Múltiple

El método descrito en la VDI 3722-2 ha sido implementado en 6 y por tanto las cantidades características %A, %HA, %SD y %HSD pueden calcularse de manera sencilla. Con el fin de ilustrar el procedimiento, se construye un modelo de prueba que incluye tráfico rodado, ferroviario y de aeronaves, así como dos edificios residenciales, donde la población es dato de entrada al modelo.



IMAGEN 5: ESCENARIO DE PRUEBA

Cada tipo de emisor está incluido en una variante distinta al resto, de forma que se calculan los parámetros de evaluación LDEN y LN para cada tipo de fuente. Después del cálculo, los resultados son registrados en cada receptor en fachada. El siguiente paso es calcular los valores característicos, abriendo para ello el diálogo de Efecto de Emisión Múltiple. Este diálogo mostrado en la imagen 6, habilita la evaluación de los distintos escenarios con respecto al impacto acústico. La evaluación se basa en los niveles LDEN y LN en los receptores en fachada, así como el número de residentes en ambos edificios.

Después de asignar los distintos tipos de emisión en el diálogo, la evaluación comienza y genera los parámetros de Población Molesta (%A), Altamente Molesta (%HA), con perturbación

del sueño (%SD) y con Alta Perturbación del Sueño (HSD%), considerando el impacto acústico de los distintos tipos de emisor presentes. Los resultados son almacenados como atributos en cada edificio y pueden mostrarse de distintas formas. A continuación se muestra un ejemplo de post procesado de resultados calculados en el escenario de prueba.

When the present different types of source have been selected, and the OK button is pressed, the evaluation starts and generates the parameters Annoyed Persons (%A), Highly annoyed Persons (%HA), Sleep disturbed (%SD) and Highly sleep disturbed persons (%HSD), considering the noise impact of the selected source types. Results are written as attributes at each building and they can be shown and post processed in different ways. From the test case, a post processing example for the building Nr. 1 is shown in Table 2:

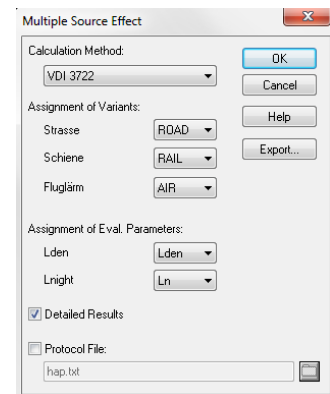


IMAGEN 6: DIÁLOGO “EFECTO DE EMISIÓN MÚLTIPLE”

Table 2. Porcentaje de personas con molestia por ruido (%A) – Edificio N.º 1

| Building Nr. 1 | | (Number of Inhabitants : 45) | | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| Receiver | Inhabitants / receiver | L _{DEN} Road | L _{DEN} Rail | L _{DEN} Air | L* _{DEN,rail} | L* _{DEN,air} | LA _{ES} | %A _{road} | %A _{rail} | %A _{air} | %A _{tot} | A |
| 1 | 1,70 | 60.9 | 44.5 | 57.5 | 40.8 | 63.6 | 65.5 | 27.2 | 2.3 | 32.6 | 36,60 | 0,62 |
| 2 | 1,70 | 60.9 | 44.6 | 57.6 | 40.9 | 63.7 | 65.5 | 27.3 | 2.4 | 32.7 | 36,60 | 0,62 |
| 3 | 1,70 | 60.9 | 44.8 | 57.6 | 40.9 | 63.7 | 65.5 | 27.3 | 2.4 | 32.7 | 36,60 | 0,62 |
| 4 | 1,70 | 60.9 | 44.9 | 57.6 | 41.0 | 63.7 | 65.5 | 27.3 | 2.5 | 32.8 | 36,70 | 0,62 |
| 5 | 1,70 | 60.9 | 45.1 | 57.6 | 41.2 | 63.7 | 65.5 | 27.3 | 2.6 | 32.8 | 36,70 | 0,62 |
| 6 | 1,70 | 60.9 | 45.2 | 57.6 | 41.2 | 63.7 | 65.5 | 27.3 | 2.6 | 32.8 | 36,70 | 0,62 |
| 7 | 1,70 | 60.9 | 45.3 | 57.7 | 41.3 | 63.8 | 65.6 | 27.4 | 2.7 | 32.9 | 36,80 | 0,63 |
| 8 | 1,70 | 60.9 | 45.4 | 57.7 | 41.4 | 63.8 | 65.6 | 27.4 | 2.7 | 32.9 | 36,80 | 0,63 |
| 9 | 1,70 | 60.9 | 45.6 | 57.7 | 41.5 | 63.8 | 65.6 | 27.4 | 2.8 | 32.9 | 36,80 | 0,63 |
| 10 | 1,70 | 57.8 | 60.4 | 57.7 | 53.9 | 63.8 | 65.1 | 21.8 | 16.0 | 33.0 | 35,70 | 0,61 |
| 11 | 1,70 | 57.3 | 60.8 | 57.8 | 54.3 | 63.9 | 65.1 | 21.1 | 16.6 | 33.1 | 35,70 | 0,61 |
| 12 | 1,70 | 56.9 | 61.2 | 57.8 | 54.7 | 63.9 | 65.1 | 20.5 | 17.1 | 33.1 | 35,70 | 0,61 |
| 13 | 1,70 | 56.6 | 61.7 | 57.8 | 55.3 | 63.9 | 65.2 | 19.9 | 17.9 | 33.2 | 35,70 | 0,61 |
| 14 | 1,70 | 32.7 | 64.9 | 57.8 | 58.5 | 63.9 | 65.0 | 0.0 | 23.1 | 33.2 | 35,50 | 0,60 |
| 15 | 1,70 | 32.6 | 64.9 | 57.8 | 58.5 | 63.9 | 65.0 | 0.0 | 23.1 | 33.2 | 35,50 | 0,60 |
| 16 | 1,70 | 32.6 | 64.9 | 57.8 | 58.5 | 63.9 | 65.0 | 0.0 | 23.1 | 33.1 | 35,50 | 0,60 |
| 17 | 1,70 | 32.6 | 64.9 | 57.8 | 58.5 | 63.9 | 65.0 | 0.0 | 23.1 | 33.1 | 35,40 | 0,60 |
| 18 | 1,70 | 32.6 | 64.9 | 57.7 | 58.5 | 63.8 | 64.9 | 0.0 | 23.1 | 33.1 | 35,40 | 0,60 |
| 19 | 1,70 | 32.6 | 64.9 | 57.7 | 58.5 | 63.8 | 64.9 | 0.0 | 23.1 | 33.0 | 35,40 | 0,60 |
| 20 | 1,70 | 32.6 | 64.9 | 57.7 | 58.5 | 63.8 | 64.9 | 0.0 | 23.1 | 33.0 | 35,30 | 0,60 |
| 21 | 1,70 | 32.6 | 64.8 | 57.7 | 58.5 | 63.8 | 64.9 | 0.0 | 23.1 | 32.9 | 35,30 | 0,60 |
| 22 | 1,70 | 32.7 | 64.8 | 57.7 | 58.5 | 63.8 | 64.9 | 0.0 | 23.1 | 32.9 | 35,30 | 0,60 |
| 23 | 1,70 | 56.1 | 61.6 | 57.6 | 55.2 | 63.7 | 64.9 | 19.2 | 17.8 | 32.8 | 35,30 | 0,60 |
| 24 | 1,70 | 56.6 | 61.1 | 57.6 | 54.6 | 63.7 | 64.9 | 19.9 | 16.9 | 32.8 | 35,30 | 0,60 |
| 25 | 1,70 | 57.1 | 60.6 | 57.6 | 54.2 | 63.7 | 64.9 | 20.7 | 16.3 | 32.7 | 35,30 | 0,60 |
| 26 | 1,70 | 57.6 | 60.2 | 57.5 | 53.7 | 63.6 | 64.9 | 21.6 | 15.7 | 32.6 | 35,40 | 0,60 |
| | | | | | | | | | | | | 15,86 |

Los resultados en el edificio N.º 1 muestran que aproximadamente 16 habitantes de 45 en total sufren molestias por ruido. Dado que la molestia por tipo de emisor también se calcula de forma individual, se puede observar que los menores ratios de personas sufriendo molestia es muy bajo en aquellas fachadas que son opuestas a un tipo de emisor concreto. Por ejemplo, los residentes en las ventanas que representan los receptores del 1 al 9, están menos molestas por el ruido de ferroviario, mientras que los que viven en los receptores del 14 al 21 no sufren molestia por el ruido de tráfico.

CONCLUSION

En conclusión, la gestión de todos los tipos de emisor en un único modelo, por medio de un enfoque integrado, prueba proporcionar un mayor abanico de posibilidades de análisis, al tiempo que evita la pérdida de datos valiosos. Un ejemplo son las aportaciones parciales en los receptores. Adicionalmente, el concepto de expresar efectos en la salud producidos por la combinación de diversos tipos de emisión, abre un amplio rango de posibilidades en el campo de la planificación acústica en ciudades.

REFERENCIAS

1. VDI 3722-2:2003 "Effects of traffic noise/Characteristic quantities in case of multiple sources", 2013
2. European Environment Agency, "Good practice guide on noise exposure and potential health effects", Copenhagen, 2010
3. World Health Organization, "Night noise guidelines for Europe", Copenhagen, 2009
4. Probst, W, Huber, B and Vogelsang, B., "ICAN – Instruction for the calculation of aircraft noise and for noise mapping around Airports", ICSV 2009, Krakow, Poland, Jul 2009
5. Directive 2002/49/EC Of the European Parliament and Of The Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities, L 189/12 -25
6. CadnaA, Computer Aided Noise Abatement, Software Package, Ver. 4.4, DataKustik GmbH, Greifenberg, Germany, 2014. (www.datakustik.com)