

## COMPROBACIÓN DE LA BONDAD DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA CADNA/A

PACS:43.50.Sr

Tarrero Fernández A.I.<sup>1</sup>; Martín Bravo M<sup>a</sup> A<sup>1</sup>.; González Suárez J.; Machimbarrena Gutiérrez M.; Cebrián Velasco J.M., Sanz Marcos H.

<sup>1</sup>E.U. Politécnica de la Universidad de Valladolid

Francisco Mendizábal nº 1

470014 Valladolid

Tef: 983 423 500

Fax: 34 983 423 490

E-mail: [maruchi@sid.eup.uva.es](mailto:maruchi@sid.eup.uva.es), [ana@sid.eup.uva.es](mailto:ana@sid.eup.uva.es)

### ABSTRACT

Due to recently appearance of European Directive and its transposition in Noise Law, different acoustic simulation softwares have been programmed taking into account their specifications. Therefore, the main purpose in this work is to check the Cadna/A reliability, simulation program of environmental noise. A group of experimental measurements were carried out, in real environments of Valladolid city, and these results were compared with the results predicted by this simulation program. The values obtained were very similar in most of the cases, appearing significant disagreements in points where the traffic is scarce. Audible sources that were used have been road traffic and rail traffic.

### RESUMEN

Debido a la reciente aparición de la Directiva Europea y su transposición en la Ley del Ruido, se han programado diferentes softwares de simulación acústica teniendo en cuenta sus especificaciones. Por ello el objetivo principal de este trabajo será comprobar la fiabilidad de Cadna/A, programa de simulación de ruido ambiental. Se han realizado una serie de medidas experimentales, en entornos reales de la ciudad de Valladolid, y se han comparado con los resultados predichos por dicho programa de simulación, obteniéndose valores muy similares en la mayoría de los casos. Las fuentes sonoras estudiadas han sido las de tráfico rodado y ferroviario.

### INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la sociedad ha experimentado una progresiva sensibilización en lo que a contaminación acústica se refiere. Esta preocupación ha provocado por una parte la aparición de normativas que aseguren el confort acústico en la vida cotidiana, y por otra la aparición de herramientas que analizan y simulan el comportamiento y propagación del ruido.

La Directiva Europea sobre Ruido Ambiental, publicada el 25 de Junio de 2002, define al ruido ambiental como “el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, el tráfico rodado, ferroviario y

aéreo y por emplazamiento de actividades industriales”. Dicha directiva impone a los Estados Miembros la elaboración de mapas de ruido según métodos comunes, con el fin de que sean comparables, para determinar el nivel del ruido ambiental, informar a la población y adoptar planes de acción con vistas a prevenir y reducir el ruido en caso necesario. Según esta Directiva, el 30 de junio de 2007 a más tardar, tienen que elaborarse los mapas estratégicos de ruido correspondientes a todas las aglomeraciones con más de 250000 habitantes, y a todos los grandes ejes viarios (con más de seis millones de vehículos al año), ferroviarios (tráfico superior a 60000 trenes al año) y grandes aeropuertos. Los mapas estratégicos de ruido se revisarán, y en su caso se modificarán, al menos cada 5 años a partir de la fecha de su elaboración.

Sin embargo, el ruido carecía de una norma general reguladora de ámbito estatal hasta la publicación de la Ley del Ruido, el 17 de noviembre del 2003, que es una transposición de la Directiva Europea. Dicha ley trata el ruido en un sentido amplio, englobando en el concepto de contaminación acústica tanto al ruido percibido en forma de sonido como de vibraciones.

Las exigencias de estas normativas hacen que debido a la complejidad, y sobre todo a lo laborioso y caro que resultaría medir la situación acústica de una población o zona determinada, se tienda a realizar una evaluación a través de un software de predicción, que podrá informar de la situación de un modo más rápido que el basado en medida reales. Estas herramientas de simulación no sólo han de servir para la evaluación y el estudio de la contaminación acústica de zonas edificadas, sino también como herramientas de predicción. Permiten evaluar la presencia de efectos contaminantes en zonas de futura construcción y de alguna manera predecir cuál será el impacto que se va a producir en las zonas limítrofes.

Los métodos de cálculo recomendados en la Directiva Europea para los estados miembros que no cuentan con métodos nacionales son: para el ruido del tráfico rodado el método nacional de cálculo francés “NMPB-Routes-96”, y para el ruido de trenes el método nacional de cálculo de los Países Bajos SMR II.

## **SOFTWARE DE SIMULACIÓN ACÚSTICA**

Hasta la actualidad se han desarrollado muchas herramientas de simulación acústica (Cadna, Mithra, Soundplan, ArcView, ...) que han revolucionado el mundo de la predicción y del análisis de los factores acústicos, gracias al uso de complejas ecuaciones y cálculos recursivos, los cuales solamente una máquina de cálculo puede realizar con relativa facilidad, en cuanto al tiempo de cálculo y al uso de recursos requeridos. Además, las aplicaciones de simulación cada vez son más potentes, permitiendo realizar un análisis más fiable en menor tiempo. La acústica medioambiental se caracteriza por trabajar con métodos de análisis eminentemente empíricos, con toda una formulación que requiere muchos y repetitivos cálculos.

Un estudio exhaustivo del impacto acústico supondría la contemplación de una infinidad de parámetros, como pueden ser el tipo de vehículo (turismo, ciclomotor o camión), el tipo de motor (gasolina o diésel), tipos de asfalto, viviendas en el entorno, pendiente de la calle, condiciones meteorológicas, etc. Con el fin de simplificar este proceso se utilizan, en muchas de estas aplicaciones, métodos empíricos que permiten obtener resultados válidos a partir de muy pocos parámetros que caractericen la fuente y el entorno. Los métodos de análisis utilizados para el desarrollo de esta aplicación son modelos de estudio de impacto acústico ampliamente extendidos y la mayoría de programas de análisis comparten los mismos métodos.

En nuestro caso el software de simulación utilizado ha sido Cadna/A V.3.4, principal herramienta del paquete CADNA (Computer Aided Design Noise Abatement), desarrollado por la empresa Datakustik. Es el desarrollo más nuevo de la empresa, especialmente optimizado para dar solución a los requisitos de la directiva 2002/49 CE y la Ley de Ruido 37/2003. Cadna es un programa para el cálculo y presentación de niveles de ruido ambiental, así como de predicción y asesoración en relación con la contaminación acústica. Trabaja bajo entornos WINDOWS, con interface de usuario sencilla, lo que no impide que sea un programa potente y

rápido, incorpora tecnología PCSP (Parallel Controlled Software Processing), lo que supone la posibilidad de trabajar en paralelo en un mismo proyecto o en varios mediante una red de ordenadores interconectados entre sí en una red de área local. También está compuesto por Cadna/SAK, que simula el ruido que se propaga en recintos cerrados, y por Bastian, herramienta para el cálculo de aislamiento acústico en edificación y barreras. Todas estas herramientas están interrelacionadas, de modo que los datos calculados por cada una de ellas, pueden ser entregados a la herramienta principal, Cadna/A, para dar más exactitud en sus cálculos.



Con cadna/A se pueden obtener valores estadísticos de impacto acústico en la población con presentaciones gráficas en mapas horizontales, verticales y en fachada, así como la importación y exportación en más de 30 formatos distintos, en 2D y 3D.

Para la realización de los cálculos posteriores al diseño del entorno, hemos de conocer todos los parámetros, o al menos los que más puedan influir, (en la figura 1 se puede ver una vista en 3D de la modelización de un túnel con cadna/A). Las fuentes sonoras están definidas, como las carreteras, vías férreas y fuentes puntuales. Una vez que hemos introducido en nuestra aplicación todos los parámetros que modelan las fuentes de ruido de la escena debemos decidir cuáles serán los parámetros relativos al cálculo en nuestra herramienta de simulación, por lo que tendremos que configurar la aplicación de acuerdo a la normativa vigente, tras lo cual se procederá a la realización del análisis de una zona determinada o de un punto concreto, definido por un receptor. Debido a que el tiempo de cálculo de la aplicación puede ser muy largo, en muchas de estas aplicaciones dispondremos de un indicador de estado, para indicar de forma aproximada el porcentaje o el tiempo de cálculo restante.

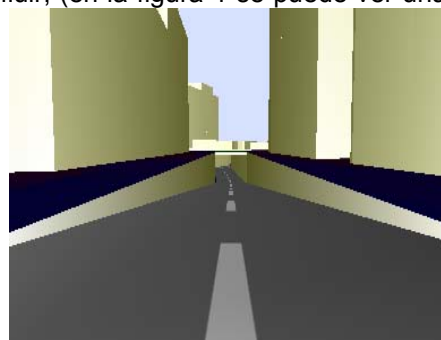


Figura 1. Vista en 3D de una modelización con Cadna

Una vez realizados los cálculos de los niveles acústicos, tendremos que analizar la situación obtenida, y plantear soluciones a dicha situación si los valores obtenidos se encontrasen fuera de los rangos máximos permitidos por la ley. Para resolver el problema el programa puede contar con diversas soluciones, entre las que podemos enunciar, la aplicación de barreras para dificultar la propagación del sonido, la aplicación de asfaltos sonorreductores, la reducción de la velocidad de circulación, la prohibición de circular en ciertas horas, la restricción de circular a cierto tipo de vehículos o la creación de rutas alternativas en ese tramo.

## DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ANÁLISIS CON CADNA

Para comprobar la bondad de la herramienta se ha elegido una zona de la ciudad de Valladolid que contenga dos tipos de fuente, tráfico rodado y ferroviario, teniendo en cuenta que en ella pueda disponerse de todos los parámetros que necesita el programa. La zona elegida ha sido la calle Labradores y sus alrededores, de aproximadamente 0,2 km<sup>2</sup>, porque algunas de sus calles disponían de aforímetros (medidor de tráfico consistente en una espiral situada bajo el asfalto que contabiliza el número de vehículos que pasan sobre ella), y además, alguna de las calles estaba al lado de las vías del tren. La figura 2 muestra una ortofoto (foto aérea) del mapa de la zona de Valladolid donde se localiza la zona de simulación, y la misma zona simulada con Cadna. En primer lugar hay que identificar las fuentes de ruido, en nuestro caso la principal fuente de ruido es el tráfico de vehículos y trenes. Después se caracterizan las fuentes (tipo de vehículos, tipo de trenes, nº de vehículos, nº de trenes) y el entorno (altura de los edificios, coeficiente de absorción, pendiente de las calles, tipo de pavimento, si hay juntas en las vías...). Con todos estos datos el programa calcula el mapa de ruido de la zona simulada y para comprobar su veracidad se eligen cinco puntos como receptores y en ellos se

compara el valor calculado con el valor medido. El programa puede calcular los niveles sonoros considerando distinto número de reflexiones, los valores se han obtenido con una reflexión, porque se ha comprobado que ésta es la mejor opción ya que con cero reflexiones se obtienen peores resultados y con dos reflexiones aumenta mucho el tiempo de cálculo.

Los 5 puntos elegidos en la zona a simular se representan en la Figura 2 mediante círculos blancos y negros. La situación de los receptores no se ha realizado de forma aleatoria, sino que se ha intentado abarcar los distintos tipos de ruido de la zona. Los puntos son los siguientes:

**Receptor 1** (calle Labradores Nº 12): Es un punto con tráfico alto. (600 Vehículos/hora durante el día y 150 Vehículos /hora durante la noche).

**Receptor 2** (calle Labradores Nº 32): Es el punto con tráfico más intenso de todos los puntos considerados, el número de vehículos es aproximadamente el doble que en el punto uno. (1415 Vehículos/hora durante el día y 120 Vehículos /hora durante la noche).

**Receptor 3** (calle Estación Nº 65): Es un punto representativo del tráfico ferroviario, por su proximidad a las vías del tren, también hay tráfico rodado, aproximadamente igual que en el receptor uno. (1000 Vehículos/hora durante el día y 100 Vehículos/hora durante la noche).

**Receptor 4** (calle Niña Guapa Nº 5): Punto con tráfico de vehículos poco intenso, el menor de todos los puntos considerados. (30 Vehículos/hora durante el día y 5 Vehículos/hora durante la noche ).

**Receptor 5** (calle Pedro de Lagasca Nº 15): Este punto tiene tráfico medio-bajo. El número de vehículos es algo superior al del punto cuatro. (110 Vehículos/hora durante el día y 20 Vehículos/hora durante la noche).

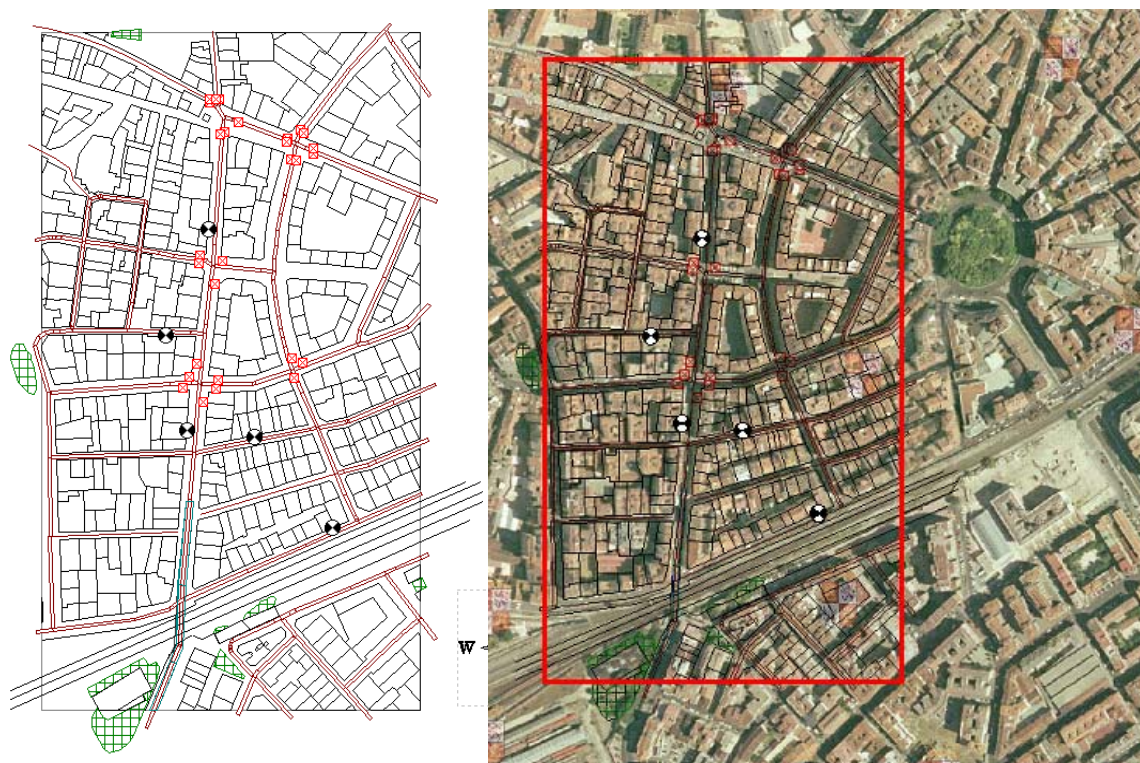


Figura 2: Zona de estudio, a la izquierda simulada con cadna y a la derecha una ortofoto. En ambas se muestran los cinco receptores mediante círculos blancos y negros

Las medidas experimentales han consistido en la medida del nivel sonoro real en cada punto receptor, cada minuto durante una hora. Previamente se ha analizado cuál es la hora más representativa de cada intervalo. Los receptores estaban situados a 4 m de altura sobre el nivel del suelo. Estas medidas fueron realizadas en dos períodos de tiempo, uno relativo al día, que indica el periodo de mañana y el de tarde ya que los niveles en estos periodos eran muy similares, y otro relativo a la noche.



Debido a que Cadna/A incluye los métodos de cálculo utilizados en la unión europea, se ha configurado el programa para que se adapte a las especificaciones de La ley del Ruido, calculando los niveles equivalentes de las distintas franjas horarias, Nivel sonoro equivalente del periodo día (Ld), Nivel equivalente del periodo noche (Ln) y el nivel día-tarde-noche (Lden) calculado según se especifica en la directiva europea<sup>1</sup> y dado por la expresión:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{24} \cdot \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{e+5}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{n+10}}{10}} \right) \right)$$

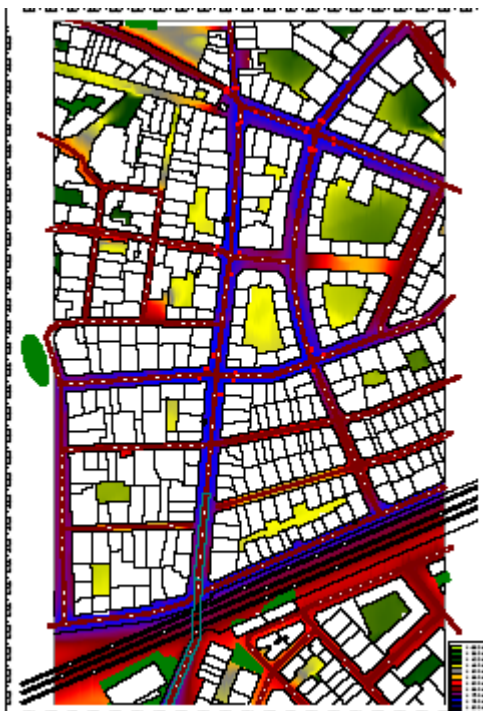


Figura 3

Una vez introducidos todos los parámetros de la zona considerada, Cadna/A nos proporciona el mapa de ruido de dicha zona, como el mostrado en la figura 3.

Además, Cadna/A tiene la posibilidad de usar evaluadores que da como resultado un cuadro en el cual se indica el nivel en dB en el punto donde le apliquemos del mapa de ruido. Este icono no mostrará el nivel si se coloca sobre una edificación, o si no se ha hecho el cálculo del mapa de ruido. Una muestra del resultado que producen estos evaluadores es el mostrado mediante la figura 4.

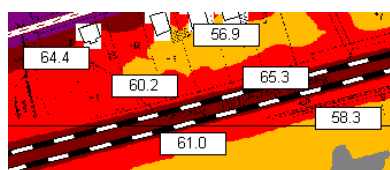


Figura 4

## RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 1 se recogen los niveles de ruido, medidos experimentalmente y los predichos por el programa de simulación, en cada uno de los cinco puntos elegidos, así como las diferencias entre los valores medidos y calculados.

Si analizamos los resultados vemos que las diferencias que se obtienen entre los valores medidos y calculados son menores de 2,26 dBA para el  $L_{de}$  y el  $L_n$  en los 5 puntos analizados.

Para el  $L_{den}$  las diferencias son menores de 0.74 dBA en 4 de los 5 casos estudiados. En el punto 4 se obtiene una diferencia de 3,09 dBA lo que puede ser debido a que este punto es el que tiene menor tráfico de los 5 y por ello influyen más la presencia de otras fuentes de ruido no tenidas en cuenta en el programa de simulación. Podemos decir, por tanto, que la aplicación es buena para predecir niveles de ruido, sobre todo cuando la densidad de tráfico rodado sea media o alta.

<sup>1</sup> Al día le corresponden 12 horas, a la tarde 4 horas y a la noche 8 horas. Los valores horarios de comienzo y fin de los respectivos periodos son de 7.00 a 19.00, de 19.00 a 23.00 y de 23.00 a 7.00, hora local.

		MEDIDOS	SIMULADOS	DIFERENCIAS
<b>PUNTO 1</b>	Lde	<b>71.54 dBA</b>	<b>73.8 dBA</b>	<b>-2.26 dBA</b>
	Ln	<b>63.81 dBA</b>	<b>61.9 dBA</b>	<b>1.91 dBA</b>
	Lden	<b>73.55 dBA</b>	<b>73 dBA</b>	<b>0.55 dBA</b>
<b>PUNTO 2</b>	Lde	<b>71.941 dBA</b>	<b>72.6 dBA</b>	<b>-0.65 dBA</b>
	Ln	<b>61.186 dBA</b>	<b>60.1 dBA</b>	<b>1.08 dBA</b>
	Lden	<b>72.94 dBA</b>	<b>72.2 dBA</b>	<b>0.74 dBA</b>
<b>PUNTO 3</b>	Lde	<b>71.44 dBA</b>	<b>72.9 dBA</b>	<b>-2.06 dBA</b>
	Ln	<b>63.73 dBA</b>	<b>63.4 dBA</b>	<b>-0.37 dBA</b>
	Lden	<b>73.45 dBA</b>	<b>73.1 dBA</b>	<b>0.35 dBA</b>
<b>PUNTO 4</b>	Lde	<b>61,74 dBA</b>	<b>60,2 dBA</b>	<b>1,54 dBA</b>
	Ln	<b>50,92 dBA</b>	<b>48,7 dBA</b>	<b>2,22 dBA</b>
	Lden	<b>62,89 dBA</b>	<b>59,8 dBA</b>	<b>3,09 dBA</b>
<b>PUNTO 5</b>	Lde	<b>64.57 dBA</b>	<b>66.2 dBA</b>	<b>-1.63 dBA</b>
	Ln	<b>54.37 dBA</b>	<b>54.7 dBA</b>	<b>-0.33 dBA</b>
	Lden	<b>65,85 dBA</b>	<b>65.7 dBA</b>	<b>0.15 dBA</b>

**Tabla 1**

## **CONCLUSIONES**

Como resumen de este trabajo podemos extraer las siguientes conclusiones:

- Cadna/A es un software de simulación potente, que permite simular el ambiente acústico de una zona determinada, una vez caracterizadas las fuentes y el entorno.
- Una vez introducidos los parámetros que caracterizan la zona en estudio Cadna/A permite modelizar en 3D dicha zona.
- A partir del mapa de ruido simulado y mediante los evaluadores este software permite conocer los valores de ruido predichos en los puntos que nos interesen.
- Comparando los niveles sonoros medidos experimentalmente con los predichos por Cadna/A, vemos que existe una concordancia muy buena sobre todo si la densidad de tráfico es media o alta.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Manual de CADNA V3.4 Datakustik GMBH, Greifenberg, Germany
- Directiva Europea 2002/49/CE
- Ley del Ruido 37/2003
- Informe sobre el método de cálculo para carreteras NMPB ROUTES '96

**ESTE TRABAJO SE HA REALIZADO EN COLABORACIÓN CON LA EMPRESA IBERACÚSTICA.**